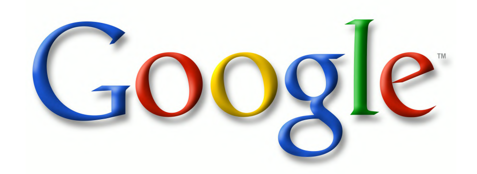


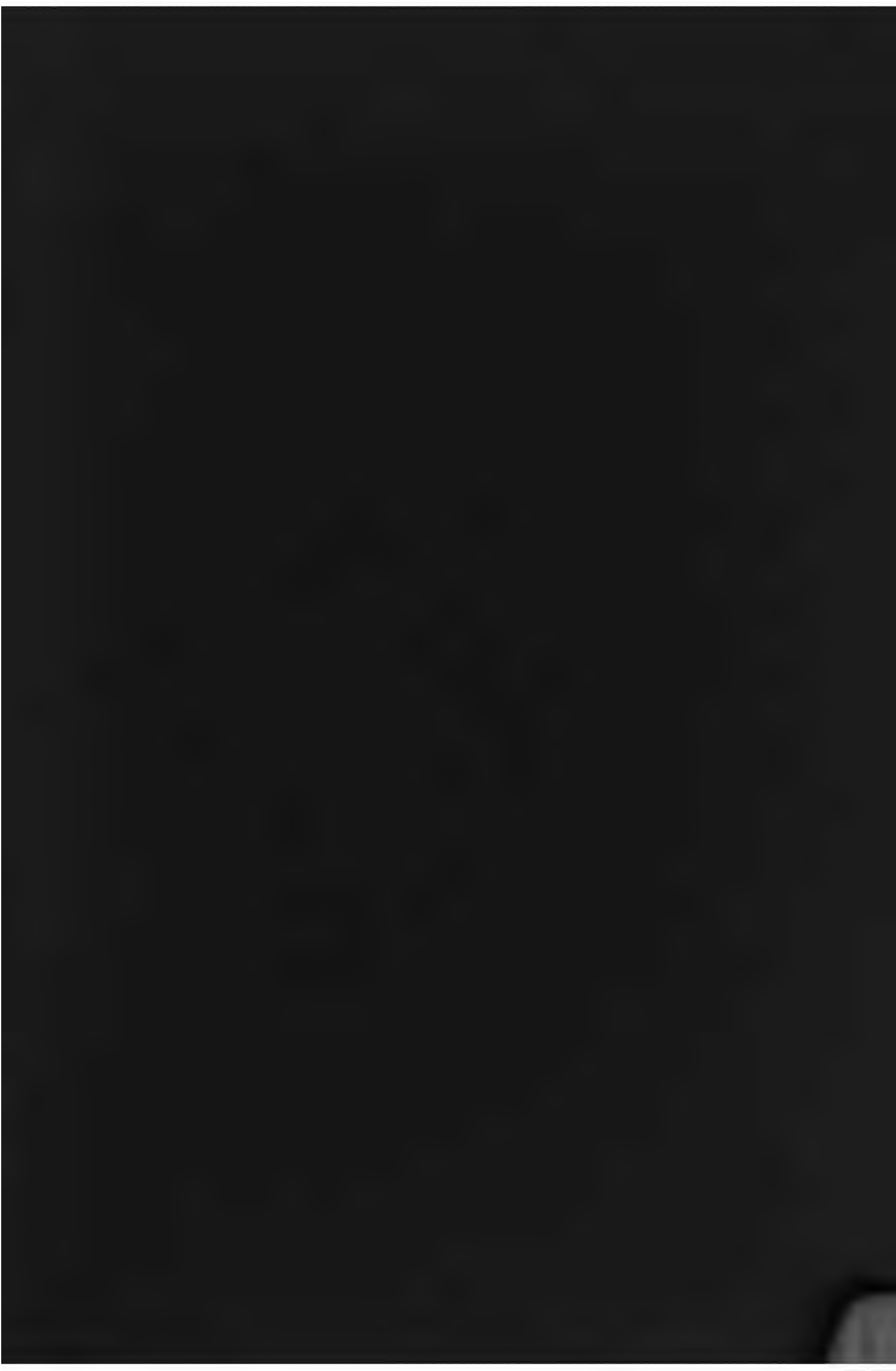



# Geschichte des Elektroeisens

Von

Oswald Meyer


SIGILLVM · UNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS





# Geschichte des Elektroeisens

mit besonderer Berücksichtigung der zu seiner Erzeugung bestimmten elektrischen Öfen

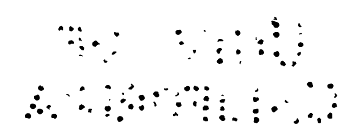
Von

**Dr. techn. Oswald Meyer**
Professor an der k. k. Staatsgewerbeschule in Klagenfurt

Mit 206 Textfiguren



**Berlin**
Verlag von Julius Springer
1914



# Vorwort.

Langjährige praktische und theoretische Arbeiten auf dem Gebiete der Technik des Eisens regten den Verfasser an, Studien betreffend das auf elektrischem Wege hergestellte Eisen und dessen Erzeugung anzustellen.

Schon im Jahre 1903 hatte er als Konstrukteur der von Tetmajerschen Lehrkanzel an der k. k. technischen Hochschule in Wien und als Betriebsingenieur des an diese angegliederten mechanisch-technischen Laboratoriums und der Werkstätte Gelegenheit, aus den glänzenden Ergebnissen von mit Elektrostahl durchgeführten Untersuchungen auf die große Zukunft zu schließen, welche der Elektroeisenerzeugung beschieden ist. Der Verfasser sah daher auch die Literatur auf diesem Gebiete durch, um ein Bild über den Werdegang dieses modernsten Zweiges der Hüttentechnik zu gewinnen. Über den gegenwärtigen Stand desselben orientierte er sich durch eine umfangreiche Korrespondenz mit den Ofenkonstrukteuren und Elektroeisenproduzenten.

Er glaubt so, daß er den Versuch wagen darf, als Ergebnis seiner Studien eine Übersicht über die Entwicklung der elektrischen Eisengewinnung und der dabei zur Verwendung kommenden elektrischen Öfen zu geben.

Die Arbeit soll zerfallen in einen geschichtlichen Teil, eine vergleichende Aufzählung der derzeit bestehenden elektrischen Eisenerzeugungsöfen, in eine systematische Zusammenstellung der bekannteren Typen von Elektroeisenöfen und in die Mitteilung einer der neuesten Erscheinungen.

Es wurde getrachtet, die Arbeit in weitgehendster Weise durch Zeichnungen zu vervollkommnen, durch welche das Verständnis der einzelnen Ofenarten erleichtert werden dürfte. Eine Reihe von Skizzen wurde der Fachzeitschrift „Stahl und Eisen“ entnommen, da dieselben in anerkannt vorzüglicher Weise ausgeführt sind. Viele andere Figuren, zum Beispiel jene der Stobie- und Schatzl-Öfen, eine große Zahl schematischer Skizzen usw. wurden von den Erfindern beigestellt bzw. vom Verfasser selbst gezeichnet.

Allen Förderern des Werkes, insbesondere dem Direktor der k. k. Staatsgewerbeschule in Klagenfurt, Herrn k. k. Regierungsrat Ing.

Gustav Schatzl von Mühlfort, den zahlreichen Eisenwerken, Fabriken und Erfindern, welche dem Autor Mitteilungen über die Einrichtungen und die Betriebsergebnisse ihrer Öfen direkt zukommen ließen, dem Verleger des Buches und anderen sei der verbindlichste Dank ausgesprochen.

Die geschätzten Leser jedoch mögen vielmals gebeten sein, dem Autor Wünsche oder Anregungen für eine weitere Vervollkommnung des Werkes nicht vorzuenthalten, sondern ihm solche zwecks Berücksichtigung bei einer allfälligen Neuauflage freundlichst in kurzem Wege bekanntgeben zu wollen.

Klagenfurt, im April 1914.

**Oswald Meyer.**

# Inhaltsverzeichnis.

## Dritter Teil.

Seite

### Einteilung und Übersicht der bekannten Systeme von elektrischen Öfen zur Eisenerzeugung.



## Vierter Teil.

### Anhang.

# Einleitung.

Der elektrische Strom kann in der Hüttentechnik zu verschiedenen Zwecken verwendet werden. Als Schwachstrom zu Zwecken der Verständigung — Telegraphie, Telephonie —, als Starkstrom für die Beleuchtung, für motorischen Antrieb, zur elektromagnetischen Aufbereitung der Erze, zur Bearbeitung, zum Schmelzen und Erzeugen der Metalle.

Für die Eisenerzeugung kommt der Starkstrom in Betracht.

Seine Anwendung im Hüttenwesen überhaupt geht Hand in Hand mit der Entwicklung der Starkstromtechnik. Wir finden ihn zuerst für Beleuchtungs- und Kraftzwecke, sodann zur Scheidung und Aufbereitung von Erzen und zur Bearbeitung von Metallen in Verwendung. Zu Ende des vorigen Jahrhunderts wurde er zur Gewinnung von verschiedenen Metallen außer Eisen praktisch verwertet, wobei insbesondere die elektrolytische Wirkung in Anwendung kam; jedoch erst im letzten Dezennium war es möglich, ihn auch zur Eisendarstellung in größerem Maßstabe heranzuziehen.

Man findet daher auch in sehr umfangreichen und ausgezeichneten Arbeiten, wie jener Dr. Becks[1]) vom Jahre 1903 nur wenig Andeutungen über die elektrische Eisen- und Stahlbereitung.

Beck erwähnt, daß Edison in New Jersey die elektromagnetische Aufbereitung im Jahre 1898 in großem Maßstabe durchgeführt hat, stellt der Anwendung der Elektrizität für die Eisenerzeugung keine ungünstige Zukunft in Aussicht, bespricht den Schmelzofen von Stassano[2]), bleibt jedoch im übrigen bei jenen Verfahren der Eisengewinnung, welche ohne elektrischen Starkstrom vor sich gehen können.

Auch von Jüptners Siderologie vom Jahre 1902 und Leobners Geschichte der direkten Eisen- und Stahlerzeugung[3]) enthalten über das elektrische Verfahren sehr wenig; Beweis genug, welche geringe Bedeutung die Anwendung des Starkstromes für die Zwecke der Eisendarstellung um die Jahrhundertwende erlangt hatte.

---

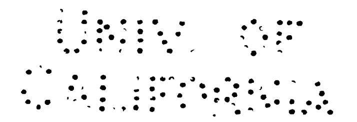
[1]) Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Bedeutung. 1903.

[2]) V. Band, S. 575 und 576.

[3]) Denkschrift anläßlich der Jahrhundertwende 1900 aus dem Berg- und Hüttenmännischen Jahrbuch der Bergakademien, XLVIII. Band.

Hingegen verwendet die hüttentechnische Literatur der letzten Jahre einen zumeist sehr umfangreichen Raum für dieses Gebiet. Dies insbesondere seit dem Jahre 1904, in welchem die kanadische Kommission unter Führung Haanels und unter Zuziehung des Metallurgen Harbord zum Zwecke des Studiums der damals bestehenden elektrischen Eisen- und Stahlbereitungsanlagen nach Europa entsandt worden war. Von dieser Zeit an fand eine rapide Entwicklung der Elektroeisen-Industrie statt. So bildet die Entsendung dieser Studienkommission, wenn sie selbst auch den Aufschwung dieser Industrie am europäischen Kontinente wenig beeinflußt haben dürfte, ein sehr bemerkenswertes kulturgeschichtliches Ereignis. Sie leitet einen Zeitabschnitt ein, in welchem der elektrische Eisenverhüttungsprozeß eine umfangreiche praktische Verwertung findet.

---



## Erster Teil.

# Geschichte der elektrischen Eisenbereitung und der für dieselbe bestimmten elektrischen Öfen.

Die Entwicklung der Eisenbereitung unter Benutzung der Elektrizität läßt sich in einzelne Abschnitte zerlegen, welche durch sachliche und zeitliche Vorkommnisse gekennzeichnet sind. Dementsprechend wollen wir die Geschichte derselben in Abschnitten durchsprechen und soll dabei die Einteilung Borchers[1]) mit Anwendung finden.

Die Abschnitte seien folgende:

1. Vorperiode vom Anfang des 19. Jahrhunderts bis zum Jahre 1853, in welchem Jahre der Versuchsofen von Pichou-Johnson hergestellt wurde.

2. Periode. Dieselbe besteht aus einer mehr als 20 jährigen Pause, welche durch Siemens' elektrischen Schmelztiegel vom Jahre 1878 charakterisiert und mit dessen Änderungen abgeschlossen wird. 1853—1880.

3. Periode, während welcher eine Reihe von Erfindungen patentiert wird, ohne für die Zwecke der Eisenerzeugung Anwendung zu finden. Als bemerkenswerteste Ideen dürften jene von de Ferranti und de Laval gelten. 1880—1898.

4. Die nächste Periode wird mit dem Schmelzofen von Stassano eröffnet und ist durch die Auffindung grundlegender Konstruktionen für die Elektroeisenbereitung gekennzeichnet, ohne daß dieselben in diesem Zeitabschnitte eine erwähnenswerte Verbreitung gefunden hätten. Sie schließt mit der Entsendung der kanadischen Kommission ab. 1898—1904.

5. Die Erfindungen der 4. Periode werden vervollkommnet; der elektrische Raffinationsprozeß findet umfangreiche praktische Verwertung. Neue Ofenkonstruktionen, versuchsweise elektrische Roheisenerzeugung. 1904—1909.

---

[1]) Stahl und Eisen 1905, S. 631, Borchers, Über den gegenwärtigen Stand der Eisen- und Stahlerzeugung. Vortrag, gehalten gelegentlich der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf.

6. Von der erfolgreichen Inbetriebsetzung des elektrischen Hochofens in Domnarvfet im Jahre 1909 bis zur Gegenwart. Weitere Ausbreitung der indirekten Eisenerzeugung mit Hilfe der Elektrizität, die Roheisenerzeugung beginnt sich praktisch zu bewähren. Neue Ideen.

**1. Vorperiode vom Anfang des 19. Jahrhunderts bis zum Jahre 1853.** In diese Zeit fallen die ersten Anfänge der Verwendung der Elektrizität für chemische Zwecke, nachdem Nicholson und Carlisle im Jahre 1800 die Wasserzersetzung durch den elektrischen Strom beobachtet hatten[1]. „Seit jener Zeit ist es gelungen, eine Reihe chemischer Verbindungen mit Hilfe des elektrischen Stromes zu zerlegen und die einzelnen Elemente, namentlich die Metalle, mehr oder minder dauernd zu isolieren. Allerdings leitete zunächst nur das rein wissenschaftliche Interesse die weiteren Versuche und Arbeiten, und man strebte auch danach, die Hauptgesetze dieser Lösung chemischer Verbindungen aufzufinden und hinzustellen.

Bekannt sind aus jener allerersten Zeit die Arbeiten Sir Humphrey Davys vom Jahre 1807, die sich auf die Zerlegung der Alkalien und alkalischen Erden bezogen, und welche zum Teil die Entdeckung dieser Elemente überhaupt zur Folge hatten[2].“

1805 vergoldete Brugnatti silberne Medaillen, 1838 fertigte von Jacobi Nachbildungen von Denkmünzen, Medaillen und anderen Gegenständen auf dem Wege der Galvanoplastik an. Es sind dies die ersten praktischen Verwertungen der Metalldarstellung auf elektrischem Wege.

Nach und nach lernte man auch Nickel, Antimon, Platin, Eisen, Blei und Zink galvanoplastisch zu verwerten und sind hier unter anderen die Namen Smee, der die Bezeichnung „Elektrometallurgie“ zuerst gebraucht haben soll und Böttger anzuführen.

Diese Arbeiten bezogen sich aber vorzugsweise auf die Bedeckung metallischer Gegenstände mit fest anhaftenden Überzügen anderer meist kostbarerer Metalle, auf die Nachbildung von künstlerischen oder auch zur typographischen Kunst bestimmten Erzeugnissen in harten und dauerhaften Metallen.

Trotz der ausgiebigsten Verwendung des elektrischen Stromes in den beiden gedachten Richtungen scheint man zur eigentlichen Metallgewinnung mittels Elektrizität erst gekommen zu sein, als Bunsen und Mathiessen die Frage, ob sich die Alkali- und Erdmetalle durch Elektrolyse ihrer Salze darstellen lassen, bejahend beantwortet hatten.

---

[1] Nach Neumann versuchte bereits Van Marum die Reduktion einiger Oxyde mit seiner großen Harlemer Maschine.

[2] Dürre, Elektrometallurgie, S. 1; Stahl u. Eisen 1881, S. 241.

Die praktische Verwendung der elektrischen Energie für die Zwecke der Gewinnung und Reinigung von Metallen begann demnach mit Zuhilfenahme der Elektrolyse.

Man konnte dieselbe in der Folge auf Kupfer, Silber, Aluminium, Platin, Zink, Zinn, Nickel, Gold usw. anwenden.

Im Jahre 1846 schlug Bockbushman eine 2 mm dicke Eisenschichte auf Kupfer nieder. 1857 stellte Fenquières Proben von Elektrolyteisen auf der Pariser Weltausstellung aus, jedoch führten weder diese Arbeiten noch ein späterer Versuch von Pertsch 1893 dazu, das elektrolytische Verfahren auch praktisch auf die Eisengewinnung zu übertragen.

Erst als man es versuchte, den elektrischen Strom in Wärme umzusetzen und diese für die Eisenverhüttung zu verwerten, kam man dem Ziele näher, Eisen aus Erzen zu gewinnen oder es zu raffinieren.

Auch hier mußten andere Mètalle den Weg weisen und hatte es so Davy 1810 unternommen, einen elektrischen Ofen für die Aluminiumgewinnung zu bauen. Immerhin wurden auch Versuche gemacht, die Elektrothermie auf das Eisen anzuwenden: im Jahre 1815 hatte Pepy in geschlitzten Eisendraht Kohlenpulver gelegt und durch vom elektrischen Strom erzeugte Hitze zementiert, und Wall wies 1843 darauf hin, daß man Roheisen elektrisch heizen, schmelzen und frischen könnte, was auch Watson und Rosser zu Ende der Vorperiode nochmals anregten.



Fig. 1.

Borchers gibt über die ersten Anfänge zur Verwendung elektrischer Öfen in seiner Elektrometallurgie vom Jahre 1903 folgende Aufschlüsse:

„Die im elektrischen Lichtbogen herrschende Temperatur scheint sich zuerst Depretz bei seinen Versuchen zunutze gemacht zu haben. In seiner Mitteilung an die französische Akademie der Wissenschaften vom 17. Dezember 1849[1]) besprach er das Verhalten einer kleinen Retorte aus Zuckerkohle von ca. 1,5 cm Durchmesser, innerhalb welcher von einer Kohlenspitze ausgehend der Lichtbogen erzeugt wurde. Die Retorte selbst diente dabei als positive Elektrode.

Eine etwas spätere Erfindung Johnsons[2]) zum Schmelzen der Erze vom Jahre 1853[3]) besteht darin, daß Erz mit Kohle gemischt

[1]) Comptes rendus 1849, 29. — Siehe auch Borchers, Elektrometallurgie 1903, 120.

[2]) Auch unter dem Namen Pichou bekannt, welcher als geistiger Urheber anzusehen sein dürfte.

[3]) Engl. P. Nr. 700 von 1853.

durch einen elektrischen Lichtbogen fällt, welcher zwischen 2 großen Elektroden erzeugt wird. Bei Durchquerung des Lichtbogens werden die Erze geschmolzen und in Schlacke und Metall verwandelt. Die beiden letzteren fallen in einen bereitstehenden Behälter, wo sie durch eine geeignete Feuerung im Flusse erhalten werden, bis sich das Metall von der Schlacke gesondert hat." Der Ofen von Pichou-Johnson ist also ein Vertikalofen mit horizontal liegenden Elektrodenpaaren, durch deren Lichtbogen das Schmelzgut durchfallen sollte. Es handelt sich hier um direkte und indirekte Lichtbogenerhitzung.

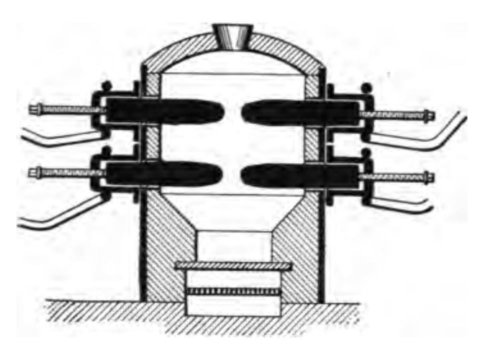


Fig. 2. Pichou-Johnson.

Man findet demnach am Ende dieses Zeitabschnittes, der „Vorperiode", bereits den Gedanken der direkten Metallerzeugung aus den Erzen nach Pichou-Johnson und jenen der Raffination des Roheisens nach Wall, ohne daß diese Ideen von Eisenhüttenleuten ernst genommen worden wären. Sie blieben theoretische Betrachtungen bzw. Versuche.

**Die 2. Periode oder Siemenssche Periode** bringt zunächst eine mehr als 20jährige Pause, während welcher über die Eisengewinnung auf elektrischem Wege wenig gehört wird. Wohl haben Chenot 1855 und Blair 1870 versucht[1]), Eisenerze elektrisch zu reduzieren und zu reinigen, Monkton[2]), Morris und Weare 1862[3]), Monkton 1863[4]), Wilde 1865[5]) Patente auf Verfahren zur Umwandlung von weichem Eisen in Stahl und zur Eisenerzeugung mit Hilfe des elektrischen Stromes genommen, jedoch erst die anfangs der 70er Jahre ausgeführten Versuche Werner von Siemens', Eisen und Stahl aus Erzen auf elektrischem Wege zu gewinnen, fanden Beachtung. Seiner Anregung ist die Erfindung von William Siemens vom Jahre 1878 und 1879 zu verdanken[6]), mit welcher ein elektrothermischer

---

[1]) Siehe Catani, Stahlerzeugung im elektrischen Ofen aus Erz nach dem direkten Verfahren.

[2]) Engl. P. Nr. 1153.

[3]) Engl. P. Nr. 1516.

[4]) Engl. P. Nr. 2549.

[5]) Engl. P. Nr. 1412.

[6]) Englisches Patent Nr. 4208 von 1878 und 2210 von 1879. Elektrotechnische Zeitschrift 1880, S. 325. Stahl und Eisen 1881, S. 240 ff. und 1882, S. 508.

Apparat der praktischen Verwertung in der Metallurgie empfohlen wurde.

Derselbe war ein Tiegelofen, welcher mit einer Rüstung aus Eisenblech versehen war. Siemens verwendete Lichtbogenerhitzung, wobei der Lichtbogen von einer oberhalb des Eisenbades befindlichen Elektrode zum Metallbade übersprang und der elektrische Strom sodann durch das Schmelzgut zu einer am Boden des Tiegels gelegenen Elektrode ging. Die Elektroden wurden zuerst aus Kohle hergestellt; dabei nahm das Schmelzgut zuviel Kohlenstoff aus den Elektroden auf. Um dies zu vermeiden, verwendete er später wassergekühlte Eisenstücke als Pole. Dieser Ofen erhitzte vornehmlich durch die Wärme des Lichtbogens und kann als Ofen mit direkter Lichtbogenerhitzung charakterisiert werden. (Fig. 3.)

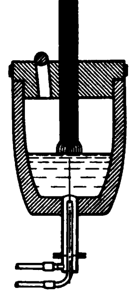


Fig. 3. Siemens.

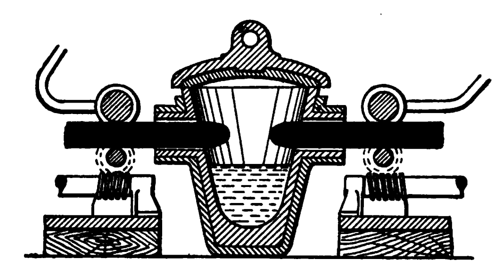


Fig. 4. Siemens.

Siemens heizte jedoch auch mit indirekter Lichtbogenerhitzung, indem er den Strom gar nicht durch das Bad schickte, sondern Kohlenelektroden seitlich durch die Wandung des Tiegels in den Schmelzraum führte. Er ließ den Strom zwischen diesen Kohlen oberhalb des Schmelzgutes spielen. In diesem Fall erhielt er eine indirekte Erhitzung durch die strahlende Wärme des Lichtbogens. (Fig. 4.)

Siemens berichtete über seine Versuche in einem Vortrage, den er im Jahre 1880 vor der Society of Telegraph Engineers in London hielt[1]). Er erschmolz in seinem Versuchsofen Eisen aus Erz, versuchte strengflüssige Metalle, z. B. Platin, zu reduzieren und Metall-Legierungen herzustellen. Sein Verfahren sollte also der direkten Erzeugung der Metalle aus den Erzen dienen.

Borchers sagt in seiner Metallurgie vom Jahre 1903, daß der elektrische Ofen von Siemens „die erste vorbildliche und sehr wohl durchdachte Konstruktion eines elektrischen Schmelzofens“ gab. An sein Modell und auch an jenes von Pichou lehnen sich die Schmelzvorrichtungen anderer Erfinder an.

---

[1]) „Über die Anwendung des dynamoelektrischen Stromes zur Schmelzung schwerflüssiger Stoffe in beträchtlichen Mengen.“ Elektrotechnische Zeitschrift 1880, S. 325.

Seine Konstruktion litt jedoch an dem Umstande, daß die Elektrotechnik damals noch nicht weit genug vorgeschritten war, um jene Stromstärken zu erzeugen, welche zur praktischen Verwertung seiner Idee nötig waren.

**3. Periode.** In dieser wird zunächst im Jahre 1882 von einem „elektrischen Puddler“ Edisons berichtet[1]).

Edison hatte sich mit einer Reihe von Versuchen betreffend die Eisenraffination auf elektrischem Wege beschäftigt. Die Massendarstellung in Mengen wie beim Bessemerprozeß mißlang ihm. Hingegen soll er angeblich mit kleineren Mengen unter Benutzung des Puddelofens gute Erfolge erreicht haben.

Der elektrische Puddler ist eine Art Rechen aus schmiedeisernen mit feuerfestem Material ausgekleideten Rohren, durch welche dem Roheisenbade Elektrizität zugeführt wurde. Mit diesem Apparate sollte der Puddler das Eisen umrühren, bis es teigig wurde, worauf er ausgeschaltet werden konnte.

Dieses elektrische Puddelverfahren dürfte in die Praxis nicht umgesetzt worden sein.

Nach der originellen, aber nicht ganz verständlichen Edisonschen Idee bringt die 3. Periode unserer Geschichte eine Reihe von elektrischen Schmelzöfen, welche weniger für die Eisengewinnung als für jene anderer Metalle, insbesondere des Aluminiums, gedacht waren.

So sind zu erwähnen die Erfindungen von Gérard-Lescuyer[2]), Kleiner-Fiertz[3]), Grabau[4]), Cowles[5]) und von Willson, welch letzterer mehrere Patente in den Vereinigten Staaten von Nordamerika genommen hat.

Diese Öfen sind Lichtbogen-Öfen. Sie zielten jedoch hauptsächlich auf die Gewinnung des Aluminiums ab und lehnten sich zum Teil an den Elektroofen von William Siemens[6]) an.

Eine andere Art der Umsetzung elektrischer Energie in Wärme versuchte Ziani de Ferranti[7]).

Derselbe benutzte die elektrische Induktion und gab 4 verschiedene Erhitzungsarten an:

---

[1]) Stahl und Eisen 1882, S. 164.

[2]) D. R. P. 48 040 von 1886.

[3]) D. R. P. 42 022 von 1886.

[4]) D. R. P. 44 511 von 1886.

[5]) Englisches Patent Nr. 4664 von 1887 und Deutsche Reichspatente von den Jahren 1885 und 1886.

[6]) Siehe Bericht aus Metallurgie 1903, 120 ff.

[7]) Englisches Patent Nr. 700 von 1887. Siehe Engelhardt, Elektrische Induktionsöfen und ihre Anwendung in der Eisen- und Stahlindustrie. Elektrotechnische Zeitschrift 1907, S. 1051, 1084, 1104, 1124.

1. Erhitzung von in kaltem Zustande nicht leitenden Körpern in einer leitenden Rinne,
2. Erhitzung eines Leiters in einer Rinne aus feuerfestem in der Kälte nicht leitenden Material,
3. Erhitzung eines in die Rinne eingebrachten Nichtleiters durch einen Kern aus leitendem Material,
4. Erhitzung von abwechselnden Schichten von Leitern und Nichtleitern in der Schmelzrinne.

Er setzte so die verschiedenen Ausführungsformen von Induktionsöfen fest und es handelte sich nur noch um die konstruktive Durchbildung der Ofenformen, um sie praktisch verwendbar zu machen.

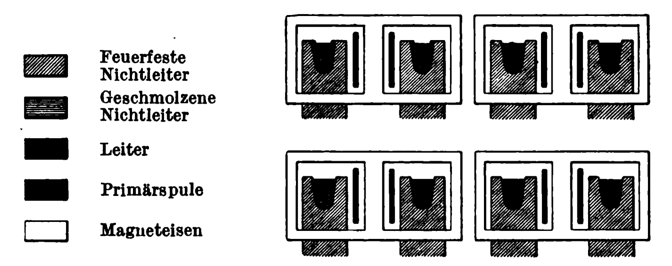



Fig. 5.

Fig. 6. Erhitzungsarten durch Reduktion nach Ziani de Ferranti.

Wie sich de Ferranti die Anordnung des Elektromagnetes und der Schmelzrinne dachte, ist aus den der Patentschrift entnommenen Figuren 7 u. 8 zu erkennen. In denselben stellt A die oblonge Schmelz-

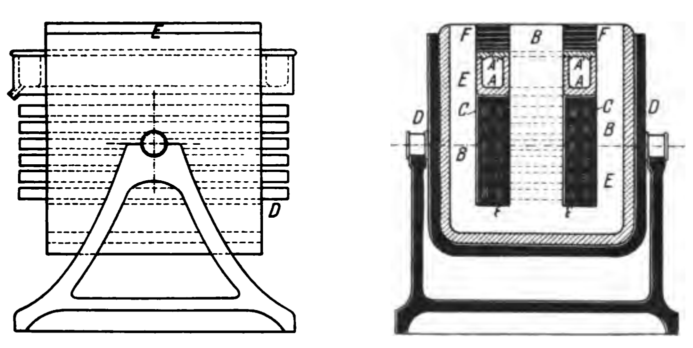



Fig. 7 und 8.

rinne, A′ die zugehörige Decke dar, beides aus feuerfestem Material. B ist der im Querschnitt gitterartig ausgebildete Magnet, welcher entsprechend der Form der Rinne gebogen ist und die isolierten den Primärstrom führenden Drähte in sich trägt. Der Sekundärstrom

soll nun in dem Schmelzgute der Rinne erzeugt werden, dieses schmelzen und hoch erhitzen. Die ganze Ofeneinrichtung wird von einem eisernen mit isolierender Masse ausgefütterten Behälter D getragen, der zwecks Neigens der Schmelzrinne beim Abstiche um eine horizontale Achse drehbar ist. F sind aus Eisenlamellen zusammengesetzte Blöcke, welche die magneto-elektrische Wirkung unterstützen sollen. Diese können auch wegbleiben. de Ferrantis Ofen ist, soweit bekannt, der erste Schmelzapparat, dessen Konstruktion auf der elektrischen Induktionswirkung beruht[1]).

de Ferranti fand nicht Gelegenheit, seine Idee zu verwerten, und es blieb dem 20. Jahrhundert vorbehalten, dieselbe wieder aufzugreifen und zu verwirklichen. Die Erscheinung der Induktion wollte übrigens Ende der 80er Jahre auch Dewey benutzen, um Radreifen zu erhitzen und auszudehnen.

Im Jahre 1888 stellte Eames gußeiserne, mit feuerfestem Material ausgekleidete Retorten in einen Schacht. Er läßt durch die mit Erz und Zuschlag gefüllten Rohre die Abgase einer seitlich angebrachten Feuerung ziehen, so daß die Beschickung auf 550° C erhitzt wird. Die Retorte besitzt an der Innenseite einander gegenüberliegende Metallplatten, welche als Pole des elektrischen Stromes einer Dynamomaschine dienen. Der elektrische Strom wird auf diese Weise durch das Erz geleitet und soll dasselbe reduzieren. Durch magnetische Aufbereitung findet sodann die Trennung der erhaltenen Eisenstücke von zurückbleibenden nicht metallischen Resten statt. Die Gase entweichen in die freie Luft.

Crompton[2]) baute 1888 einen elektrischen Reduktionsapparat. Der Ofen, in dessen Herd das Erz durch den zwischen 2 Kohlepolen übertretenden elektrischen Lichtbogen reduziert wird, hat eine Regenerativfeuerung, um das Erz zuerst hoch zu erhitzen, worauf es dem Einfluß

---

[1]) Das Prinzip der Verwendung von Induktionsströmen ist in der Patentschrift durch folgende Erklärung festgelegt:

„According to this invention I form an electric furnace in such a manner that the current which circulates in the crucible or container of the furnace is not conducted there from the outside but has local currents induced in it by a varying or alternating magnetic field or it might be by a rotating or moving field. In this way an electric furnace is obtained without electrodes in the crucible thereby avoiding all action of electrodes upon any metal or ore that is being melted or reduced therein.“

de Ferranti teilt unter anderem folgendes mit:

„The furnace was perfectly successful but I then saw that electricity was at far too high a price to be at all possible for furnace purposes and that it woult be many years before it could be commercially supplied. I therefore did no further work in the matter and the idea has therefore been carried into commercial application by other engineers.“

[2]) Britisches Patent 13 687 von 1888.

des elektrischen Stromes unterworfen wird. Es soll also offenbar nicht so sehr der Joulesche Effekt als vielmehr die elektrolytische Wirkung der Elektrizität zur Verwertung kommen.

Hornung und Kasemeyer wollten 1888[1]) Alkalimetalle und Magnesium aus den geschmolzenen Rohstoffen elektrolytisch gewinnen.

Reuleaux konstruierte 1889[2]) einen Ofen mit 3 Schächten. Dieser wird mit Erz und Flußmitteln gefüllt und durch Gasbrenner geheizt. Unterhalb der Schächte ist der gemeinsame Herd, in welchem das Material durch den elektrischen Strom zerlegt wird.

Im Jahre 1889 wurde von Gérard-Lescuyer[3]) neuerlich ein Patent genommen, um Aluminiumbronze mit Hilfe eines Lichtbogen-Schmelzprozesses zu erzeugen. Der Lichtbogen springt zu den in Stabform vorbereiteten Rohmaterialien über.

Weiters baute Moissan[4]) einen Ofen aus Kalkziegeln. Diese wurden durch Aushöhlen in die Form des Tiegelofens mit seitlich eingeführten Elektroden gebracht und konnten eventuell auch eigene Tiegel eingesetzt werden.

Moissan und Violle änderten denselben dahin um, daß ein zylindrischer Tiegel gebildet wurde, dessen Boden aus Magnesia, der

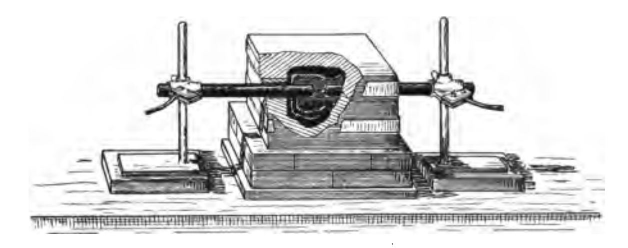


Fig. 9. Moissan und Violle.

Mantel und der Deckel aus Kohle bestand. Das Ganze stand in einem als Behälter ausgebildeten Kalksteinblock.

Der elektrische Flammbogen spielte hier wieder zwischen zwei horizontalen Kohlenelektroden, welche durch seitliche Öffnungen eingeführt wurden.

Ducretet und Lejeune[5]) stellten den Schmelztiegel ebenfalls aus Kohle, jedoch als massiven mit einer Mulde versehenen Kohleblock her. Dieser ist in eine feuerfeste Masse eingebaut. Der Lichtbogen

---

[1]) D. R. P. 46 334 von 1888.
[2]) D. R. P. 49 207 von 1889.
[3]) D. R. P. 48 040 von 1889.
[4]) Compte rendu 1892, S. 1031.
[5]) Le genie civil 1893, S. 222.

springt von der oberhalb befindlichen vertikalen Kohlenelektrode unter Durchtritt der Elektrizität durch das Schmelzgut zum Tiegel über.

Auch dieser Ofen wurde verbessert, ohne die Grundlage der Konstruktion wesentlich zu ändern. Es wurden unter anderem Schauöffnungen angebracht, welche durch Glimmerblättchen verschlossen wurden, um das Gut während des Schmelzprozesses beobachten zu können. Der Ofen fand praktische Anwendung zur Herstellung von Ruthenium und Osmium [1]).

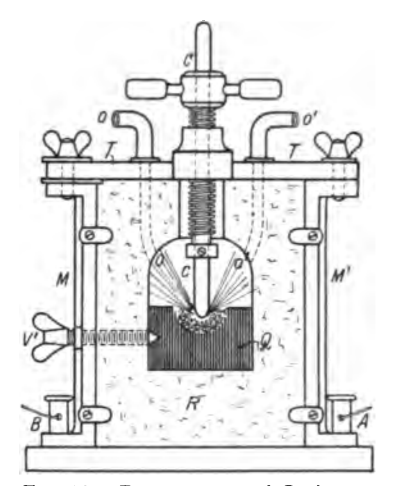



Fig. 10. Ducretet und Lejeune.
*C* beweglicher Kohlenstift,
*O* u. *O'* Gaszu- und -ableitungsrohre,
*M* u. *M'* Metallmantel,
*T* Deckel,
*Q* Tiegel,
*R* feuerfeste Masse,
*A*, *B* u. *V'* elektrische Kontakte.

In der Eisenindustrie haben die letztgenannten Öfen keine Anwendung gefunden, immerhin bedeuten sie einen Ansporn zu weiteren Versuchen in dieser Richtung.

Während man so mit der Verwertung des elektrischen Ofens zum Schmelzen und Raffinieren von Metallen bei Eisen keinen praktischen Erfolg hatte, war es Elihu Thomson [2]) durch direkte Widerstandserhitzung, Benardos (1885) [3]) durch indirekte Lichtbogenerhitzung gelungen, Eisenstücke elektrisch zu schweißen bzw. zusammenzuschmelzen.

Thomsons Patente lauteten auf Stauchen, Verstärken, Trennen oder Strecken von Metallstücken, auf Nieten und Schweißen bei Zuhilfenahme der elektrischen Widerstandserhitzung.

Lagrange, Hoho (und Juliens) erfanden das hydroelektrische Verfahren zum Schmelzen bzw. Schweißen und zum Härten von Eisen, indem sie den elektrischen Strom durch eine Wasserwanne leiteten und den großen Widerstand des durch Zersetzung des Wassers entstehenden Wasserstoffes zur Erzeugung von Temperaturen bis zu angeblich 4000° C benutzten.

Der Schweizer Killian [4]) zerlegte 1889 geschmolzenes Erz durch Elektrolyse.

Tilghman [5]) patentierte ein Verfahren und Werkzeuge zum

[1]) Compte rendu 1893, S. 639.
[2]) D. R. P. Nr. 50 388 von 1889 und 50 243 von 1889.
[3]) D. R. P. Nr. 46 776 von 1889.
[4]) D. R. P. Nr. 50 508 von 1889.
[5]) D. R. P. Nr. 53 224 von 1889.

Schneiden und Bearbeiten von Metallen unter Anwendung der elektrischen Erhitzung für die Erweichung des zu bearbeitenden Metalles.

Im Jahre 1890 stellte Diehl[1]) Aluminiumeisenlegierungen durch den elektrischen Schmelzprozeß her, während Siemens und Williamson[2]) 1891 Eisenstangen partienweise durch elektrische Erhitzung zum Glühen brachten, um die heißen Teile in einer danebenstehenden Vorrichtung zu Nägeln, Schrauben u. dgl. zu verarbeiten.

Das elektrische Schmelzverfahren wurde für die Vereinigung zweier Eisenstücke erfolgreich praktisch verwertet. Dies geht aus den Mitteilungen Mehrtens' vom Jahre 1894 hervor[3]), welche besagen, daß ein westfälisches Eisenwerk dünne Bleche mit Vorteil schweiße, statt sie wie früher zu vernieten. Dieses elektrische Schweißverfahren käme beinahe billiger als die Nietung.

Der Nachteil der stets gleich großen Intensität des Lichtbogens wurde durch Zerener behoben, welcher denselben durch elektromagnetische Einwirkung zu regulieren verstand[4]). Man versuchte sogar Stöße von Eisenbahnschienen miteinander zu verschweißen, allerdings mit weniger Erfolg, da die Schweißung größerer Querschnitte Unvollkommenheiten aufwies[5]).

Die meisten elektrischen Schmelzverfahren der nächsten Zeit, z. B. jenes des Russen Nicolai Slavianoff ergaben in ihrer Anwendung nichts als die elektrische Schweißung[6]).

Ein Patent auf einen elektrischen Schmelz- und Reduktionsofen von Urbanitzky

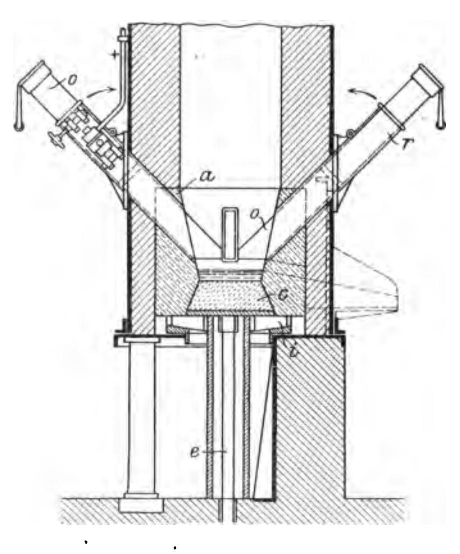



Fig. 11. Urbanitzky und Fellner.
*a* basisches Futter, *i* Schamottekeile, *c* Kohleboden, *e* elektrisches Kabel, *o* Elektroden, *r* Führungen der Elektroden.

[1]) D. R. P. Nr. 59 406 von 1890.

[2]) Britisches Patent Nr. 8152 von 1891.

[3]) Stahl und Eisen 1894, S. 769. von Winkler, Der elektrische Starkstrom im Berg- und Hüttenwesen, 1905.

[4]) Über elektrisches Schweißverfahren siehe von Winkler, Der elektrische Starkstrom im Berg- und Hüttenwesen, 1905.

[5]) Bericht von Fischer-Dick in der VIII. Hauptversammlung des internationalen Permanent-Straßenbahnvereins in Köln, August 1894.

[6]) Angewendet bei der Firma Pintsch in Berlin, Stahl und Eisen 1895, S. 42.

und **Fellner** und ein solches von **Chaplet** vom Jahre 1893[1]), bei welchem der Lichtbogen außerhalb einer Muffel spielte, in welcher das Schmelzgut erhitzt werden sollte, fanden ebenso wenig Beachtung wie der Lichtbogenofen **Twaites** zum Schmelzen von Stahl und Gußeisen[2]). Aber nichtsdestoweniger hatte der Erfindungsgeist nicht geruht und waren auch in dieser Zeit in der elektrischen Metallgewinnung Fortschritte zu verzeichnen.

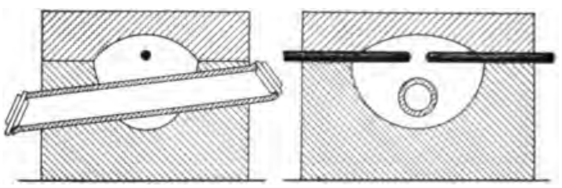


Fig. 12. Chaplet.
*a* Elektroden, *b* schräge Muffel.

Im Engineering and Mining Journal 1892, S. 1010, wird sogar darauf hingewiesen, daß dort, wo sehr billige Wasserkräfte vorhanden sind und das Brennmaterial hoch im Preise steht, die Elektrizität in den Hüttenwerken für verschiedene Zwecke und auch durch Umsetzung in Wärme Anwendung finden könnte. Es wird dabei das Cowlessche Aluminiumgewinnungsverfahren erwähnt, bei welchem die Lokalisierung höherer Temperaturen eine große Rolle spielt.

**Pertsch** wollte um diese Zeit, wie bereits oben erwähnt, auch Eisen auf elektrolytischem Wege gewinnen[3]).

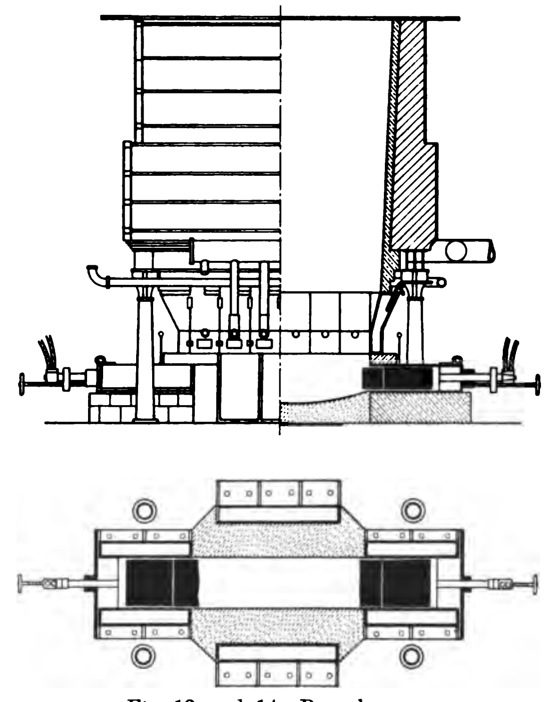
**Wedding** berichtet in seinem Vortrage im Vereine zur Förderung des gewerblichen Fleißes im Jahre 1892 „Über die Metallgewinnung auf der elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. vom Jahre 1891" von der erfolgreichen Anwendung der Elektrothermie zur Aluminiumgewinnung in Neuhausen nach **Héroults** Verfahren. Bei diesem wird ein aus Eisen bestehendes mit Kohle gefüttertes Schmelzgefäß und eine oberhalb stehende, aus einem Bündel Kohlenstäbe zusammengesetzte vertikale Elektrode verwendet (direkte Lichtbogenerhitzung). Die Tonerde wird durch den elektrischen Strom geschmolzen und zerlegt.

**Wedding** besprach den **Siemensschen** und den **Höpfnerschen** Kupferprozeß, bei welchem Kupfer durch Elektrolyse aus den schwefel- und chlorsauren Lösungen der Erze gewonnen wird und bemerkte, daß der elektrolytische Prozeß in bezug auf die Gewinnung mehrerer Metalle günstig verlaufe. So würde man Kupfer im kalten, die Erd-

[1]) D. R. P. Nr. 74 537 von 1893.
[2]) Britisches Patent Nr. 6000.
[3]) D. R. P. Nr. 66 185 von 1892.

und Alkalimetalle im heißflüssigen Zustande mit Zuhilfenahme des elektrischen Stromes erhalten. Auch Nickel, Kobalt und Edelmetalle seien für dieses Verfahren geeignet. Mit Bezug auf die Eisengewinnung sagt Wedding jedoch: „So wird wohl jedenfalls noch für lange Zeit hinaus sich an dem gegenwärtigen Stande der Eisenerzeugung im allgemeinen nichts ändern lassen und die Gewinnung durch Elektrizität auf heißflüssigem Wege auf Alkalien und Erden beschränkt bleiben."

Dem gegenüber hebt Heinke in seiner Abhandlung „Elektrische Energieformen in der Technik" die Vorzüge der Elektrizität und ihrer Anwendung hervor[1]). Er weist darauf hin, daß die große Bedeutung der Elektrizität für die Technik in der Leichtigkeit der Umwandlung der elektrischen Energie in andere Energieformen und in der für die Praxis wichtigen Bequemlichkeit und Ökonomie ihrer Anwendung liege; daß sie die Konzentrierungsfähigkeit auf kleinen Raum besitze oder — wie der Dichter sagt — die Möglichkeit, mit ihr „im kleinsten Punkt die höchste Kraft zu entfalten". Er erwähnt, daß beim Herdfeuer nur ca. 75 % der kalorischen Energie nutzbar gemacht werden, indessen beim elektrischen Schweißapparat 88 % der Energie nutzbringend verwertet werden können.


Fig. 13 und 14. Borchers.

Sehr viel beschäftigte sich der große Metallurge Borchers[2]) mit der Elektrometallurgie des Eisens, der selbst elektrische Versuchsöfen herstellte, den Entwurf eines elektrischen Hochofens bekanntgab (Fig.) und die Reinheit des elektrischen Schmelzverfahrens mit Nachdruck betonte.

[1]) Stahl und Eisen 1894, S. 443, 481, 534.
[2]) Stahl und Eisen 1898, S. 304 ff

Die Revista minera berichtet in der Jahresnummer 1895 über ein Verfahren des Schweden de Laval zur elektrischen Eisengewinnung[1]).

Dieser arbeitete ohne Lichtbogen durch reine Widerstandserhitzung. Er teilte den Ofen in zwei Teile durch eine vertikale Scheidewand, welche jedoch mit dem Schmelzgute, bzw. Magneteisenstein, als Erhitzungswiderstand überdeckt wurde[2]). Am Boden der beiden Ofenteile befanden sich die Metall- oder Kohlenelektroden, zwischen welchen der Strom überging. Er verwendete bereits Wechselstrom und sollte 1895 mit seinem Landsmanne Nobel zusammen eine große 35000-HP-Anlage in Spanien erbauen. Seine Idee ist die erste, welche einen reinen Widerstandsofen für die Eisenerzeugung praktisch verwerten wollte und die erste, welche mit so großen Kräften zu arbeiten versuchte. Mit dieser Erfindung ist daher auch der Hinweis darauf gegeben, daß in dieser Zeit die Elektrotechnik weit genug vorgeschritten war, um die gewünschten und für die Eisenerzeugung notwendigen Kräfte zur Verfügung zu stellen.

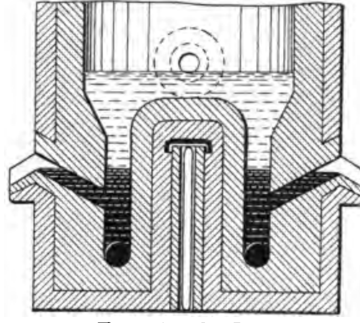


Fig. 15. de Laval.

de Lavals Gedanke ging sehr weit. Er wollte auch Torf statt Kohle und Koks zur Verwertung bringen, sprach von außerordentlicher Billigkeit seines Verfahrens ($1/4$ des Preises der bisher üblichen) und wollte Schienen, Träger, Bleche usw. erzeugen. Er kam jedoch nicht dazu, seine Idee zu verwirklichen und fand dieselbe zu seiner Zeit, wohl infolge der Kühnheit seiner Behauptungen, wenig Glauben und Anhang[3]).

Während de Laval flüssige Magneteisensteine und Eisenschwamm in seinen Ofen einbrachte und als eigentlichen Erhitzungswiderstand Eisenoxyduloxyd verwenden wollte, schlug Taussig mit seinem Ofen vom Jahre 1893 vor, das Schmelzgut selbst als Erhitzungswiderstand zu verwenden. Taussig bildete seinen Ofen als horizontale Rinne aus, wodurch auch der Widerstand entsprechend vergrößert werden konnte; denn die Elektroden waren an den beiden Enden der Rinne angebracht. Auch dieser Widerstandsofen fand ebenso wenig praktische Verwertung wie seine Vorgänger.

---

[1]) Siehe auch Zeitschrift für angewandte Chemie 1895, S. 318.

[2]) Englisches Patent Nr. 15 793 von 1892 und D. R. P. Nr. 80 462.

[3]) So findet man in Stahl und Eisen 1895, S. 736, die Bemerkung des Berichterstatters: „Die Botschaft hör' ich wohl, allein mir fehlt der Glaube.“

Indessen sich so de Laval und Taussig vergeblich bemühten, ihre Erfindungen auszunützen, wurde mit Hilfe des oben erwähnten 1887 erfundenen Héroult-Ofens Aluminium und Kalziumkarbid praktisch hergestellt[1]).

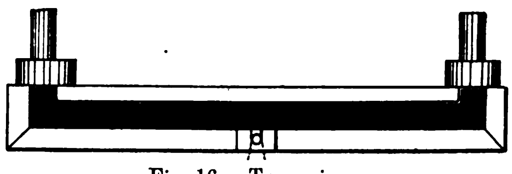


Fig. 16. Taussig.

Die Eisenindustrie aber verhielt sich noch ablehnend, da sie ein dringendes Bedürfnis dafür, das Eisen auf elektrischem Wege zu erzeugen, noch nicht hatte. Die Eisenerzeugungsverfahren der damaligen Zeit, der Hochofenprozeß, das Bessemern, Thomassieren, Martinisieren und die Tiegelgußstahlbereitung waren bereits so weit durchgebildet und vervollkommnet, daß an eine Verbilligung dieser Verfahren durch Einführung des elektrischen Stromes zunächst nicht gedacht wurde. Anderseits fehlte jede Erfahrung darüber, ob die Verwendung der elektrischen Energie eine Verbesserung der Qualität ergeben würde, obwohl die Elektrolyse mit Bezug auf andere Metalle die reinste Qualität herzustellen imstande war und auch die Anwendung des elektrothermischen Verfahrens auf die Aluminiumgewinnung in Neuhausen sehr gute Ergebnisse gezeitigt hatte. Auf dem Gebiete der Eisenerzeugung einen ersten Versuch zu wagen, blieb ein großer und kostspieliger Entschluß, den erst der Beginn des 20. Jahrhunderts bringen sollte.

So kam es, daß auch andere nach dem Jahre 1893 aufgetauchte Vorschläge zur Erzeugung und Raffination des Eisens von Crompton und Dowsing, Wickström[2]), Rossi, Heibling usw. keine Beachtung fanden und zu praktischen Erfolgen nicht führen konnten.

Immerhin hatten die Eisenhüttenleute die Elektrizität schon in umfangreicher Weise praktisch verwertet, und zwar zur Beleuchtung, zu Transportzwecken, zur elektromagnetischen Aufbereitung[3]), zur Schweißung und Bearbeitung von Eisen usw. Die verschiedenen Vorteile der Elektrizität — die Wirkung auf eine bestimmte kleine Stelle konzentrieren zu können, Temperaturen bis zu 3500 ° C ohne Schwierigkeit zu er-

---

[1]) D. R. P. Nr. 47 165 von 1887. Siehe auch S. 27.

[2]) D. R. P. Nr 75 606, 1893.

[3]) Die erste bemerkenswerte Aufbereitungsmaschine konstruierte Edison. Siehe Stahl und Eisen 1889, S. 449 und oben.

zeugen und praktisch verwertbar zu machen, die Wahrscheinlichkeit, sehr reine Produkte zu erhalten, von dem Material des Gefäßes, in welchem geheizt wird, ebenso unabhängig zu sein wie von der Atmosphäre, dem Druck und der Temperatur der Umgebung[1]) — spornten

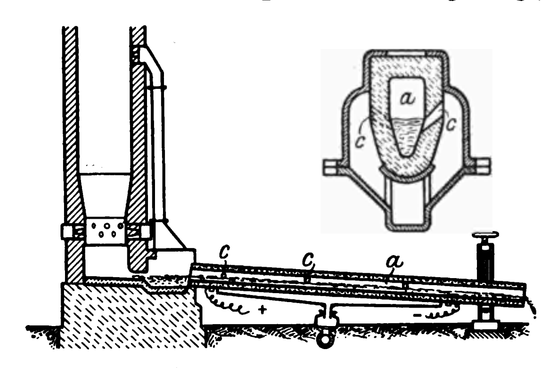



Fig. 17. Wickström.
*a* Rinne aus feuerfestem Material,
c Winddüsen.

aber zu weiterer Arbeit an, so daß endlich an der Jahrhundertwende mit den Öfen von Stassano, Héroult und Kjellin die ersten nachhaltigen Erfolge in der Erzeugung des Eisens mit Hilfe des elektrischen Starkstromes erzielt werden konnten.

Wir treten daher mit der Erfindung Stassanos in eine neue, die vierte Periode der Geschichte der elektrischen Eisenbereitung ein.

**4. Periode von der Erfindung Stassanos im Jahre 1898 bis zum Bericht der kanadischen Kommission im Jahre 1904.** Stassano nahm im Jahre 1898 ein italienisches Patent auf eine hochofenähnliche Konstruktion, bei welcher am unteren Ende der Rast Kohlenelektroden angebracht waren[2]). Auf Grund seiner Versuche bildete sich eine Gesellschaft, welche in Darfo im Camonica-Tale (Italien) eine Anlage errichtete. Diese „Società Elettro-Siderurgica Camuna“ baute den Ofen ohne Schacht als einfachen, geschlossenen Schmelzraum, in welchen Kohlenelektroden schief von der Seite hineinragten. Es gelang, weiches Eisen herzustellen, aber ohne ökonomischen Erfolg. Daher löste sich die Gesellschaft wieder auf.

---

[1]) Siehe Borchers, Elektrometallurgisches für die Eisenindustrie. Stahl und Eisen 1898, S. 304.

[2]) D. R. P. 141 512, Engl. Patent 11 604 von 1898. Siehe Jahrbuch der Chemie 1899, S. 320. — Elektrotechnischer Anzeiger 1902, S. 3181 und Zeitschrift für Elektrochemie 1903, S. 128. — Mémoires et compte rendu de la société des ing. civ. de France 1899, I, S. 425 und 1901, I, S. 200.

Die ersten bekannten Berichte über die Stassanoschen Versuche finden sich in der Rassegna mineraria vom 1. Februar 1900 und in der Revista minera vom selben Tage[1]).

Ingenieur Unkenbolt teilte über das Verfahren mit, daß es gelang, Drähte, Ferromangan und ähnliches zu erzeugen[2]), wohingegen in einem Vortrage Professor Borchers' „Über den gegenwärtigen Stand der elektrochemischen Technik" von der Anwendung der letzteren auf die Eisenerzeugung und demnach auch vom Stassanoschen Ofen noch nichts erwähnt wird[3]). In seiner Metallurgie berichtet Borchers jedoch bereits über das Verfahren Stassanos und bezeichnet es als elektrische Rennarbeit.

Eine Mitteilung Abeggs[4]) über die Elektrochemie des Eisens spricht nur über Elektrolyse.

Im Jahre 1900 nahm Keller[5]) ein Patent auf

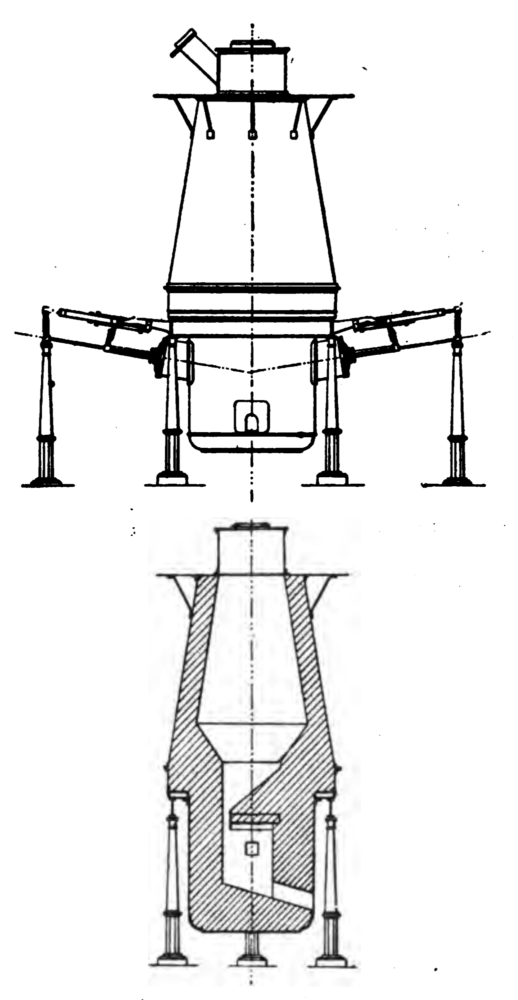


Fig. 18 und 19. Stassano.

[1]) Stahl und Eisen 1900, S. 232.

[2]) Stahl und Eisen 1900, S. 758.

[3]) Borchers berichtet über die Erzeugung von Kupfer, Silber, Aluminium, Platin, Zink, Zinn, Nickel und Gold mit Hilfe des elektrischen Stromes und sagt, daß die meisten dieser Metalle durch Elektrolyse gewonnen werden können. Er bespricht das elektrothermische Schmelzverfahren für die Herstellung von Aluminium, sagt unter anderem, daß man mit einer Jahrespferdekraft 16 t Kupfer, 22 t Silber oder 0,1825—0,450 t Aluminium erzeugen kann, und erwähnt auch die elektromagnetische Aufbereitung des Eisens. — Stahl und Eisen 1899, S. 728.

[4]) Stahl und Eisen 1901, S. 736.

[5]) Französ. Patent 300 630 von 1900, amerikanisches Patent 688 861.

einen Elektroofen, an welches sich später eine Reihe anderer Patente für die elektrothermische Eisengewinnung anschloß. Sein erster Versuch, Erze direkt in Stahl zu verwandeln, mißlang, daher zerlegte er seinen Prozeß in zwei Teile, in den Reduktions- und den Raffinationsprozeß. Er stellte zwei Öfen unmittelbar nebeneinander und erhielt so eine Art Hochofen und daneben tiefer stehend einen Herdofen. So sollte in dem ersteren Roheisen erschmolzen, im zweiten dieses raffiniert werden.

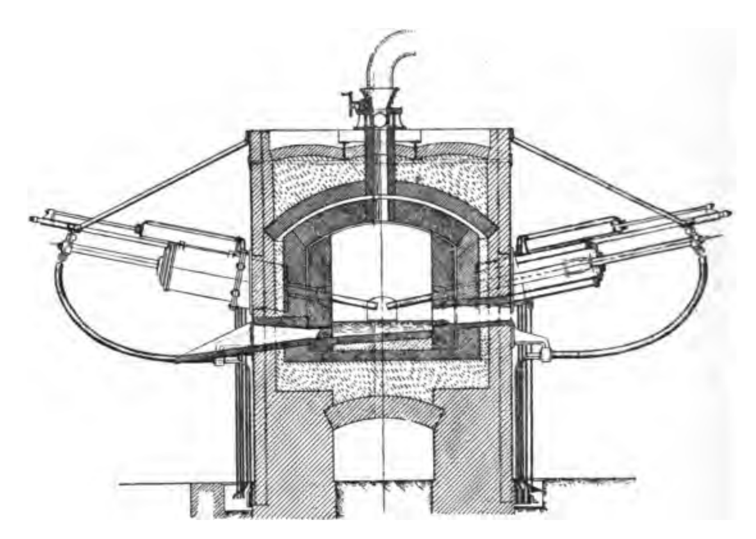


Fig. 20. Stassano.

Der Hochofen bestand aus einem konischen Schachte, welcher sich an seinem unteren größeren Querschnitt plötzlich zu einem breiten Schmelzraum mit geneigter Sohle erweiterte. Die Verbreiterung des Ofens in diesem Teile ist derart groß, daß die Kohlenelektroden neben dem Schachte durch die Decke des Schmelzraumes vertikal eingeführt werden können. Die Beschickung geschieht in gleicher Weise wie beim gewöhnlichen Hochofen. Das in diesem Lichtbogen-Widerstandsofen erschmolzene Roheisen wird sodann durch die Stichöffnung, eine anschließende Rinne und eine Öffnung in der Decke des Raffinationsofens in diesen eingelassen, woselbst nach einem, dem Héroultschen ähnlichen Verfahren raffiniert wird. Es konnten zwei Raffinationsöfen auf entgegengesetzter Seite des Schachtofens aufgestellt werden, da dieser für beide genug Roheisen lieferte. Auch der Raffinationsofen hatte geneigte Sohle. Es wurden in ihm ein oder mehrere Paare von Elektroden verwendet.

Nach Bertolus[1]) konnte in dem Raffinierofen auch der Reduktionsprozeß vorgenommen werden. In diesem Falle würden beide Prozesse aufeinanderfolgend in ein und demselben Ofen vorsichgegangen sein.

Keller verwendete auch die Kombination eines Kupolofens mit dem Raffinierofen, wenn er statt Erzen schon vorhandenes Roheisen verarbeiten wollte. Er wollte sein Verfahren in brennstoffarmen Ländern verwerten, wie z. B. in Chile und in Brasilien, weshalb er insbesondere auch Versuche mit chilenischen und neuseeländischen titanhaltigen Erzen vornahm. Sein Verfahren wurde in den Werken der Compagnie électrothermique Keller, Leleux & Co., in Kerrousse bei Hennebout und in Livet an der Romanche in Isère praktisch verwertet.

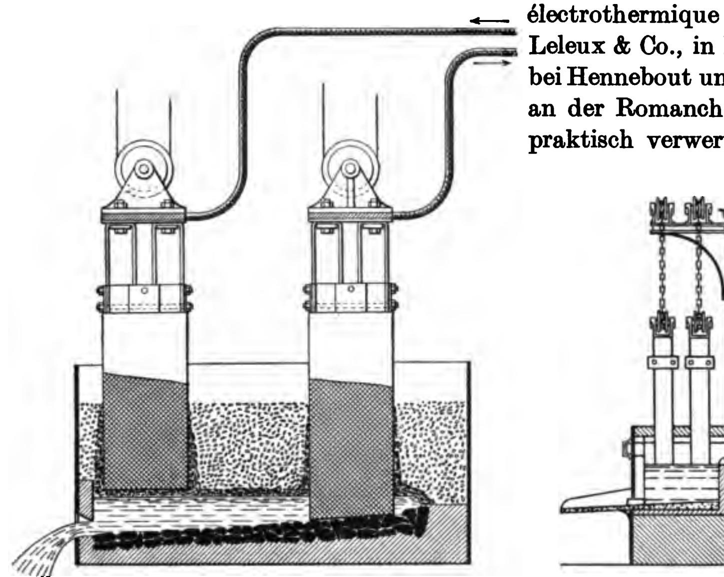


Fig. 21. Keller.

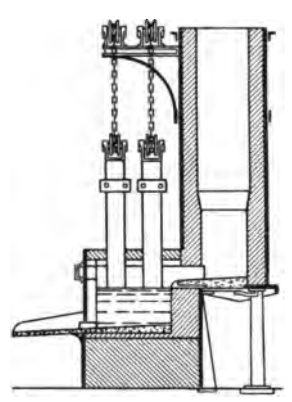


Fig. 22. Keller.

Den Reduktionsofen hat Keller später nach Héroult (siehe Seite 27) abgeändert. Er verband jedoch zwei oder vier solche niedere Schachtöfen miteinander und versah sie mit einem gemeinsamen tiefer als die Herdsohle liegenden Sammelraum. Die vertikalen Oberflächen-Elektroden hatten 850 mm Dicke und wurden aus vier quadratischen Einzelblöcken zusammengesetzt. Der Strom ging je nach Bedarf von der Oberflächen-Elektrode jedes Schachtes zu seiner aus Kohle bestehenden Bodenplatte oder von der Oberflächen-Elektrode eines Schachtes durch das geschmolzene Roheisen hindurch zu jener des anderen Schachtes. Eine in den Sammelraum durch dessen Decke

[1]) Eclairage électr. 1902, 33 und 45. Notice sur la fabrication des aciers au four électrique.

ragende Hilfselektrode sollte dazu dienen, hier eingefrorenes Eisen wieder zur Schmelze zu bringen.

Kjellin soll bereits im Jahre 1899 einen Induktionsofen durch Benedicks in Gysinge in Schweden gebaut haben. Der Ofen ist ein Widerstandsofen ohne Elektroden. Er besteht aus einer kreisförmigen in sich geschlossenen Schmelzrinne. Diese ist an einer Stelle von dem als rechteckiger Rahmen ausgebildeten Eisenkern eines Elektromagneten mit röhrenförmiger Spule umschlossen, so daß anderseits ein Schenkel des Magneteisens von der Schmelzrinne umgeben wird. Der Strom, welcher durch das Eisenbad durchgeht, wird also durch Induktion als sekundärer Strom erzeugt. Die Stromstärke im Eisenbad ist gleich jener der Wechselstrom-Dynamo mal der Zahl der Windungen der Primärspule. Vom Standpunkte des Elektrotechnikers aus betrachtet, ist der Ofen also ein Kerntransformator, dessen sekundäre Windung vom Eisenbad gebildet wird. Die Erfolge dieses Ofens sollen ausgezeichnete gewesen sein. Es gelang, hochwertige Stahlsorten und Legierungen des Eisens mit Chrom, Wolfram, Nickel und Mangan herzustellen. Über die Güte der Stahlsorten berichten Wahlberg und Neumann[1]). Letzterer führte eine Reihe von Qualitätsunter-

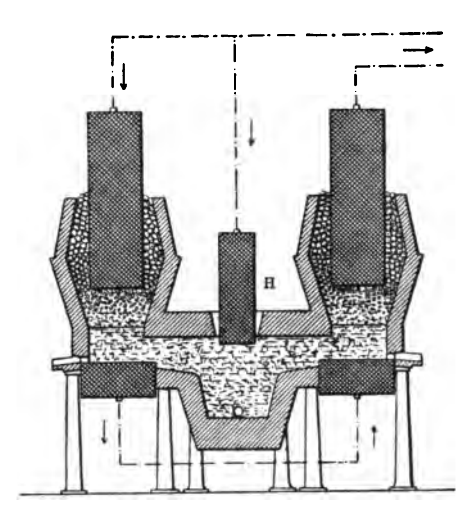
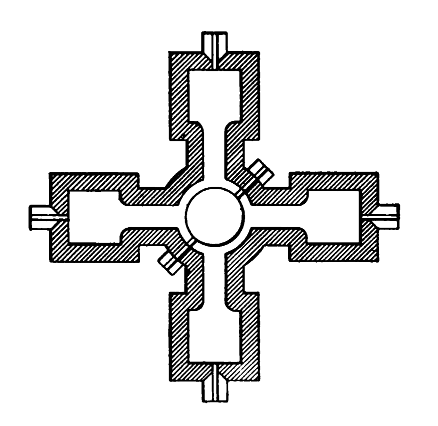


Fig. 23. Keller.


Fig. 24. Keller.

[1]) Wahlberg, Jernkontorets Annaler 1902, S. 296. Neumann, Die elektrothermische Erzeugung von Eisen und Eisenlegierungen, Stahl und Eisen 1904, S. 824.

suchungen an, welche im Laboratorium Prof. von Tetmajers an der technischen Hochschule in Wien ausgeführt wurden, ferner chemische Analysen von Stead und Benedicks. Er sagt mit Rücksicht auf die Ergebnisse dieser Proben: „Die Zahlen zeigen, daß das Kjellinsche

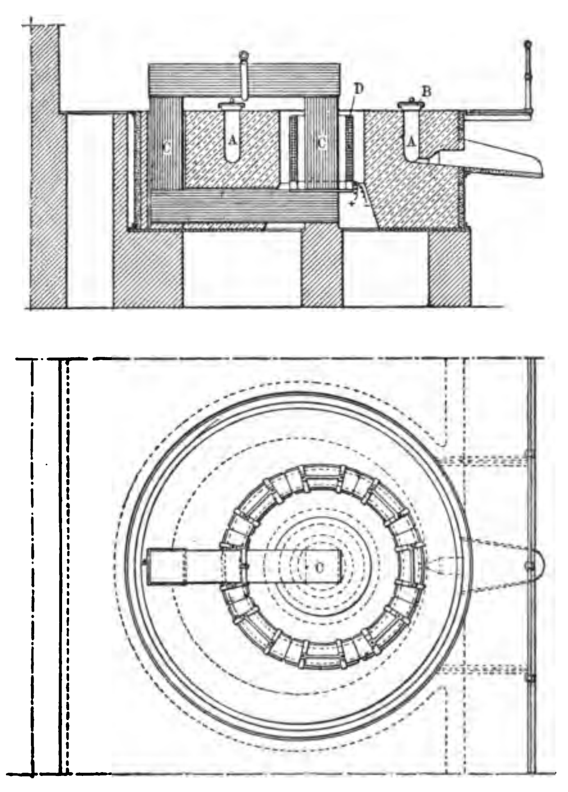



Fig. 25. Kjellin.
*A* Schmelzraum, *C* Magnetkern,
*B* ringförmiger Deckel, *D* Drahtspule.

Verfahren ein dem besten Tiegelstahl vollkommen ebenbürtiges Produkt liefert und daß sich Stahlsorten von jedem gewünschten Kohlenstoffgehalt herstellen lassen.“ Die Untersuchungen ergaben große Gasfreiheit, gleichförmiges Gefüge, Dichtigkeit und Bearbeitungsfähigkeit der Produkte. Die Bruchlasten waren mit 66 bis 118 kg/mm², die Dehnungen nach Bruch mit 2,9 bis 17,3 % erhalten worden[1]). Allerdings wurde die Hochwertigkeit des Produktes dadurch günstig

[1]) Siehe auch The Iron Age 1902, Stahl und Eisen 1902, S. 1022.

beeinflußt, daß ausgezeichnetes Holzkohlen-Roheisen von Dannemora in Schweden zur Raffination kam.

Stead wies bei seinen mikroskopischen Untersuchungen auch nach, daß der Kohlenstoff im Elektroeisen in gleicher Form auftritt wie sonst. Er fand in den Proben stets Perlitkörner umgeben von Zementit[1]).

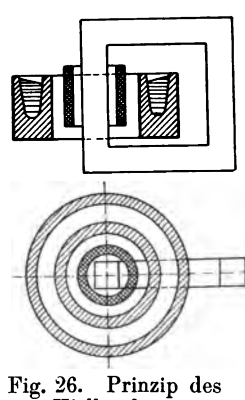


Fig. 26. Prinzip des Kjellinofens.

Eine Abart des Kjellinschen Ofens ist nach Neumann jener von Schneider[2]), dessen Hauptunterschiede gegenüber dem erstgenannten nicht in der Art des Ofens und der Eisenerzeugung, sondern darin liegen, daß der elektrische Strom der Spule, statt von einer Dynamomaschine geliefert zu werden, im Eisenkern selbst durch einen in einer Unterbrechung desselben rotierenden Feldmagneten hervorgerufen wird. Schneiders Idee scheint nicht ausgeführt worden zu sein.

Um diese Zeit tritt auch ein Patent Simons[3]) auf, um Eisen, Mangan und Ferromangan aus geschmolzenen Oxyden elektrolytisch darzustellen; dasselbe fand keine Beachtung.

Conley konstruierte einen elektrischen Ofen für ununterbrochene Eisen- und Stahlerzeugung[4]). Die erste Idee des Erfinders stammte vom Jahre 1895. In seinem Ofen sollte ebenso wie bei Stassano

---

[1]) Röchling, der später an der Erfindung einer eigenen Ofenkonstruktion beteiligt war, beschäftigte sich viel mit den Induktionsöfen und speziell dem Kjellinschen Ofen. Er vergleicht diesen Ofen mit den Elcktrodenöfen und sagt folgendes:

„1. Für den reinen Induktionsofen ergibt das Fehlen der Elektroden ein Wegfallen der für diese erforderlichen Ausgaben.

2. Da die Bildung des sekundären Stromes an das Vorhandensein eines in sich geschlossenen Eisenkernes geknüpft ist, der naturgemäß bei kaltchargiertem Schrot oder Roheisen sich nur schwer bilden kann, so eignet sich der Kjellinsche Ofen seiner Natur nach besser zur Behandlung flüssiger als fester Materialien. Darin liegt ein Fortschritt der elektrischen Prozesse gegenüber den bestehenden Prozessen.

3. Aus demselben Grunde kommt die in dem Eisenbad erzeugte Wärme auch hauptsächlich dem zu behandelnden Metall und nicht der Schlacke zugute.“ (Siehe Röchling, „Über die Fortschritte der Elektrostahl-Darstellung“, Vortrag, gehalten auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute zu Düsseldorf 1906. — Stahl und Eisen 1907, S. 81.) — Über den Kjellinschen Ofen schreibt auch Engelhardt, „Elektrische Induktionsöfen und ihre Anwendung in der Eisen- und Stahlindustrie“, Elektrotechnische Zeitschrift 1907, S. 1051 ff.

[2]) D. R. P. 130 599 und engl. Patent 7338 von 1901.

[3]) Engl. Patent 686 551 und D. R. P. 131 414 von 1902.

[4]) Engl. Patent 697 810 und 730 746 von 1903. Siehe Electric World and Eng. 1902, S. 731. — Zeitschrift für Elektrochemie 1903, S. 555.

Reduktion und Raffination in einem Raume vorgenommen werden, wodurch das Verfahren jenem von Stassano mehr ähnelt als anderen. Der Ofen hatte die Form eines Schachtofens mit einer Einschnürung im unteren Drittel. Er ist ein Widerstandsofen und geschieht die Stromzufuhr durch zwei Kränze von Elektroden, die aus einem Gemisch von Ton und Graphit hergestellt und horizontal in das Mauerwerk eingelegt werden. Das Schmelzen der Erze soll oberhalb der Einschnürung, die Reduktion unterhalb derselben vor sich gehen. Es soll Roheisen und Stahl nach Belieben erzeugt werden. Unter Verwendung des Conley-Ofens soll von der Electric furnace Co. im Jahre 1902 eine Anlage in Elisabeth Town aufgestellt worden sein, indessen die Messana Electric Steel Co. in Messana eine große Anlage dieses Systems herstellte.

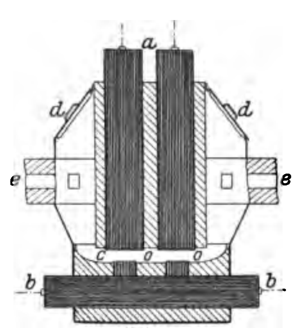



Fig. 27. Simons.
a und b Kohlenelektroden,
c Ofenherd,
d Beschickungsöffnung,
o Zwischenstücke aus Kohle,
e Gasabzug.

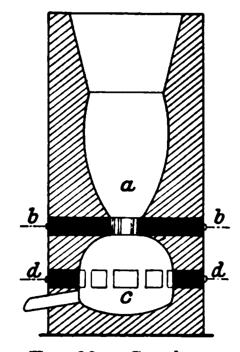



Fig. 28. Conley.
a Rost,
b und d Kohlenelektroden,
c Schmelzherd.

Charles Grange[1]) versuchte sich in einem elektrischen Ofen zum Schmelzen von Eisenschwamm. Der Ofen ist dadurch charakterisiert, daß eine Scheidewand von oben herab in den Herd reicht und den Ofen in zwei Teile teilt. Der eine erhält die Beschickung vom daneben stehenden Schacht und durch eine daranschließende Rinne, der zweite ist geheizt durch den von einer Kohle zu einer Eisenelektrode übertretenden elektrischen Strom. Die Abwärme teilt sich aber auch dem ersten Teile mit. Luft kann infolge der Scheidewand vom zweiten Teil in den ersten nicht übertreten. Im ersten ist die Schlackenöffnung, im zweiten die Abstichöffnung angebracht. Der ganze Herdofen befindet sich auf einem fahrbaren Gestell und kann vom feststehenden Schacht weggeschoben werden. Die Reduktion des Erzes zu Eisenschwamm geschieht mit Hilfe des von einem Gaserzeuger kommenden Gases.

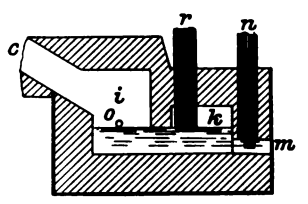



Fig. 29. Grange.
a Verbindung zum Schachtofen,
i, c und k Abteilungen desselben,
o Schlackenabfluß,
m Metallabstich,
r Kohlenelektrode,
n Eisenelektrode.

[1]) D. R. P. 139 097. — Stahl und Eisen 1903, S. 1003.

Der Schwamm rutscht über die Rinne in den Ofen, in welchem er raffiniert werden soll. Rathenau hatte einen Elektroofen konstruiert, der der Gestalt nach einem Fribhherd ähnelte. Dieser besaß eine Oberflächen- und eine Bodenelektrode. Letztere umfaßte den ganzen aus Kohlemasse bestehenden Herdboden. Der Ofen soll für das Erschmelzen von Ferrosilizium verwendet worden sein[1]).

Von Keller, Leleux & Co. stammt auch der Gedanke für einen elektrischen Tiegelofen zum Erhitzen und Schmelzen beliebiger Stoffe mit von Induktionsströmen durchflossenen und von diesen erhitzten Heizwiderständen. Letztere sind in die Wandungen des Tiegels eingebaut[2]).

Die Société Electro-Métallurgique française[3]) in Froges wollte Gußeisen, Ferrosilizium und Ferromangan in einem elektrischen Schachtofen erzeugen, dessen Elektroden in der Schachtwandung und in der Ofensohle eingebaut waren. Der Ofen ist eine Idee Héroults und wird weiter unten besprochen.

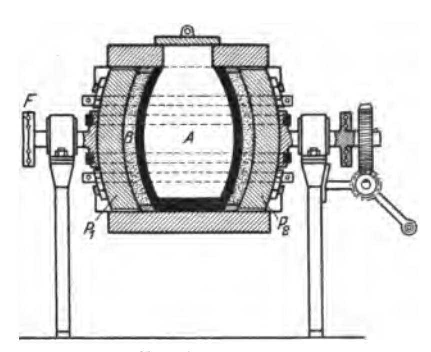



Fig. 30. Girod.
A Tiegel, B Graphitmenge, F Stromzuleitung, $P_1$, $P_2$ Elektroden.

Der vorstehend angegebene Ofen von Keller, Leleux & Co. ähnelt jenem von Girod[4]), dessen Tiegelofen von einem elektrischen Widerstand umgeben ist, von welchem die Erhitzung ausgeht. Der Widerstand besteht der Hauptsache nach aus Graphit; der ganze Tiegel samt den Widerständen ist um eine horizontale Achse drehbar. Beim Anlassen der Dynamo werden die Elektroden durch dünne Eisendrähte verbunden, welche später abschmelzen, worauf die Widerstände in Funktion treten. Nach Eichhoff wollte Girod später auch eine Kohlenelektrode in den Tiegel führen und Elektroden in den Herd desselben einbauen.

Schon im Jahre 1897 hatte Gin[5]) einen reinen Widerstandsofen konstruiert, der erst später vervollkommnet wurde. Er ging bei der Konstruktion desselben von der Betrachtung aus, daß das Eisenbad

---

1) D. R. P. 86226 u. 99233.
2) D. R. P. 140 838 von 1902.
3) D. R. P. 142 830 von 1902. Siehe auch S. 26.
4) Journal de l'Electrolyse 1903, S. 163.
5) Französisches Patent 263 783 von 1897. — D. R. P. 148 253 von 1903. L'Eclairage électr. 1904, S. 48, Elektrotechn. Industrie 1904, S. 20.

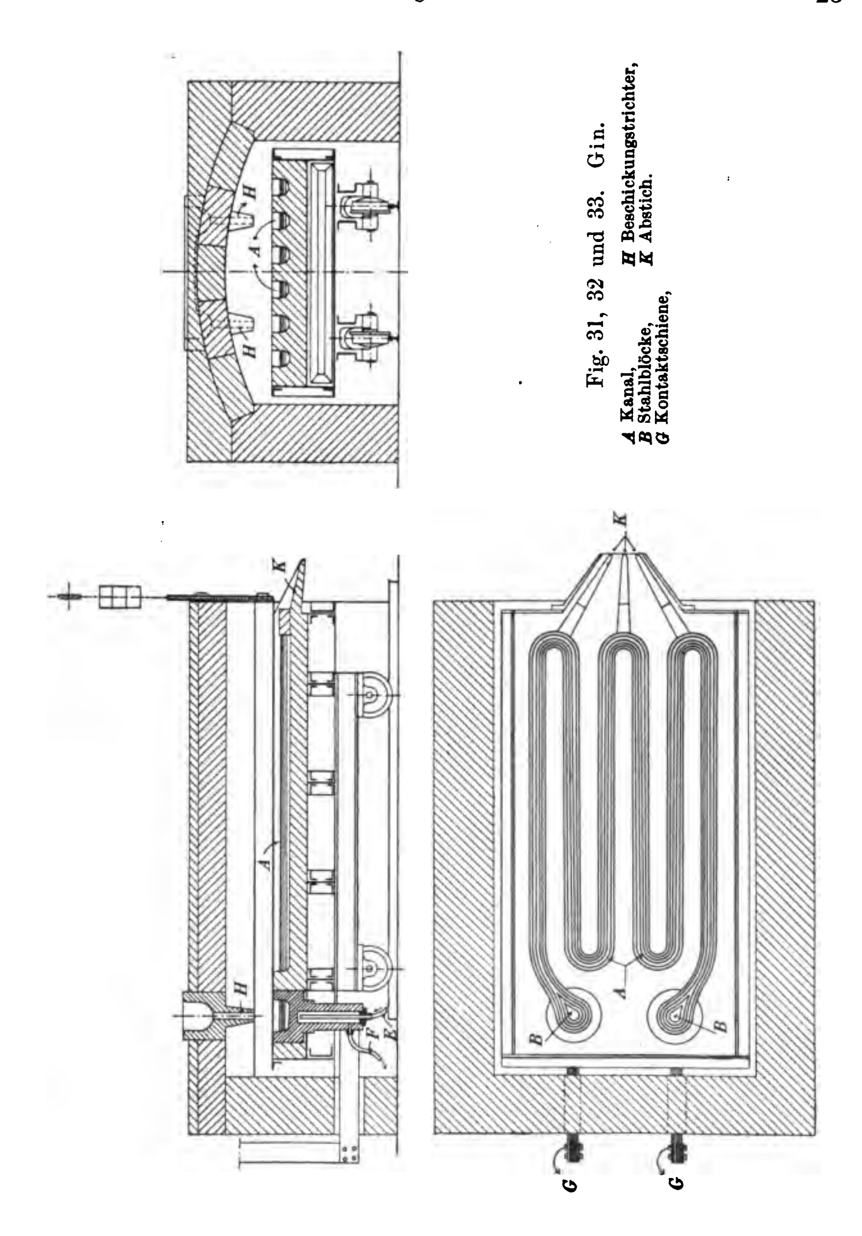



Fig. 31, 32 und 33. Gin.

*A* Kanal, *H* Beschickungstrichter,
*B* Stahlblöcke, *K* Abstich.
*G* Kontaktschiene,

bei den früheren Konstruktionen aus sich selbst nicht genügend Widerstand erzeugen konnte, um die gewünschte Erhitzung herbeizuführen. Es mußten deshalb immer entweder der Widerstand der Schlacke, die Strahlung der Lichtbogenhitze oder ein Induktionsstrom zu Hilfe

genommen werden. Er wollte durch eine lange, gewundene Rinne dem Schmelzgut einen kleinen Querschnitt geben und so dem hindurchgeschickten Strom genügend Widerstand durch das Eisenbad allein bieten. Er setzte geschmolzenes Roheisen ein und führte die Elektrizität durch an den Enden des Kanals angebrachte, wassergekühlte Stahlblöcke als Elektroden zu. Neumann vergleicht den Ofen mit einer Glühlampe, deren Faden aus geschmolzenem Metall besteht[1]). Die Rinne ist in einer Platte aus feuerfestem Material ausgenommen, welche auf einem Wagengestell ruht und aus dem Ofen herausgeschoben werden kann, indessen die Stromzuführung durch die Stahlblöcke mit dem Ofengehäuse fest verbunden ist. In diesem Ofen sollte sowohl der Reduktions- als auch der Raffinationsprozeß vorgenommen und auch Schrot verarbeitet werden.

Während diese verschiedenen Ofenkonstruktionen versucht wurden, hatte Héroult, der bereits im 19. Jahrhundert in der Aluminothermie so erfolgreich gearbeitet hatte, verschiedene Eisenlegierungen durch das elektrothermische Schmelzverfahren hergestellt, um sodann auf die Herstellung von reinem Eisen und Stahl überzugehen. Die nach Héroults Verfahren und auch jenem Kellers hergestellten Legierungen, wie Ferrochrom, Ferrowolfram, Ferrosilizium, Ferromolybdän, Ferrotitan[2]) u. a., zeichneten sich durch besondere Reinheit aus und waren daher den auf anderem Wege hergestellten gleichartigen Legierungen überlegen.

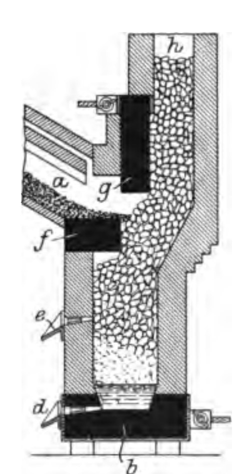



Fig. 34. Héroult.
*a* Erzbeschickung,
*h* Kohleneinwurf,
*b*, *g* Kohlenelektroden,
*f* Zwischenelektrode aus Kohle,
*d* Abstich für Metall,
*e* Abstich für Schlacke.

Héroults elektrische Öfen[3]) zur Eisengewinnung wurden zuerst von der Société Electro-Métallurgique française in Froges in Anwendung gebracht, und stammen die erten Erfolge vom Jahre 1900[4]). In der Folge benutzte Héroult verschiedene Ofenkonstruktionen, je nachdem er Roheisen oder Stahl erzeugen wollte.

Sein Hochofen bestand aus zwei gegeneinander verschobenen Abschnitten, welche durch eine schiefe Rast miteinander verbunden

[1]) Stahl und Eisen 1904, S. 768.

[2]) Mit der Herstellung verschiedener Titanlegierungen auf elektrischem Wege beschäftigte sich insbesondere Rossi. Siehe Transactions of the American Institute of Mining Engineers. Inst. 1902. Stahl und Eisen 1902, S. 326.

[3]) Electrochemical Industrie 1903, S. 467. Franz. Patent 733 040 von 1903. Siehe auch Eichhoff, Über die Fortschritte in der Elektrostahlerzeugung, Stahl und Eisen 1907, 44 ff. und Neumann, Stahl und Eisen 1904, S. 761 ff.

[4]) Neumann, Stahl und Eisen 1904, S. 761 ff. D. R. P. 142 830, 1902.

waren. In letztere wurde das Erz seitlich zugeführt, während im oberen Schachte Koks eingeschüttet wurde. Der Strom kommt hier durch eine in die Wand des Oberschachtes eingebaute Kohlenelektrode in den Ofen und geht über eine die Rast verengende zweite Kohlenelektrode — über welche das Erz in die Rast rollt — zu einem den Herd bildenden, am Grunde des unteren Schachtes befindlichen ausgehöhlten Kohlenblock. Dieser bildet gleichzeitig die Stromaustrittsstelle. Das zuzuführende Erz wird in einem seitlich stehenden Schacht durch abziehende Ofengase vorgewärmt und kommt in schon weichem Zustande in den Hauptschacht. Der Ofen dürfte als reiner Widerstandsofen aufzufassen sein, obwohl auch kleine Lichtbögen zwischen den Stücken des Beschickungsmaterials auftreten werden. Er diente nicht nur für die Darstellung von Roheisen, sondern auch für jene von Eisenlegierungen. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde er dann in Anwendung gebracht, wenn Kraftüberschuß vorhanden war.

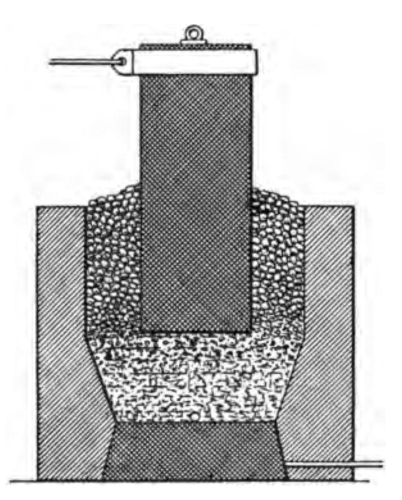


Fig. 35. Héroult.

Eine andere einfachere Form des Héroultschen Reduktionsofens ist in Fig. 35 dargestellt. Bei ihr ist eine Oberflächen- und eine Bodenelektrode aus Kohle vorhanden. Dieser Ofen wurde in La Praz in Frankreich verwendet.

Der Héroultsche Stahlerzeugungsofen hat direkte Lichtbogenerhitzung und kann angeblich auch als reiner Widerstandsofen benutzt werden. Er hat die negative und positive Kohlenelektrode in vertikaler Stellung oberhalb des Bades, jedoch können die Kohlen so tief gestellt werden, daß sie die Schlacke berühren oder ein wenig in diese eintauchen. In letzterem Falle würde der Lichtbogen verschwinden und der Ofen als reiner Widerstandsofen arbeiten.

Über den Héroultschen Raffinationsofen sagt Borchers in seiner Metallurgie: „Wie Héroult durch seine einfache Ofenkonstruktion und geschickte Verwendung des Elektrolyten als Widerstand zunächst die Grundlage für die Aluminiumindustrie gegeben hat, so schuf er einen durch die Einfachheit seiner Konstruktion und seines Betriebes nicht minder beachtenswerten Ofen, welcher tatsächlich die ersten praktischen Erfolge in der Elektrometallurgie des Eisens

erzielte“ und weiter: „Wie Héroult das zu erschmelzende Metall nur indirekt in den Stromkreis einschaltet, zwischen Metall und Elektrode als eigentlichen Erhitzungswiderstand jedoch die Schichte einer Schlacke bzw. eines Elektrolyten brachte, vermied er jede direkte Berührung des Metalls mit den unvermeidlichen Kohlenelektroden und so und nur so ist es möglich, Eisen bis zu einem beliebigen Reinheitsgrade zu raffinieren und ihm jeden gewünschten Bestandteil in genau bestimmten Mengen zuzuführen.“

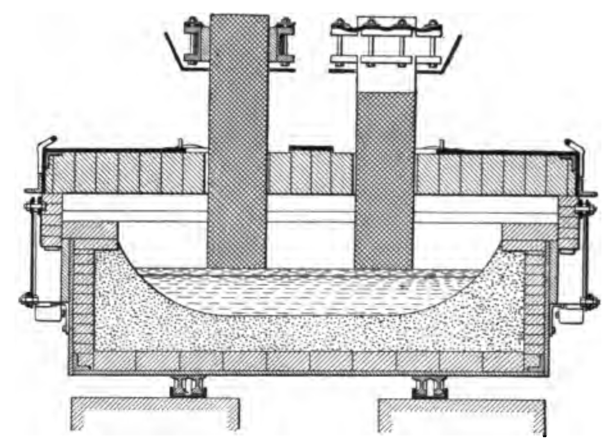


Fig. 36. Héroult.

Letzterer Vorgang entspringt einem Vorschlage de Lavals[1]), welcher die Elektroden so weit herunterlassen will, daß — nach seiner Meinung — der Widerstand der Schlackenschichte zwischen den beiden Elektroden größer als jener des Metallbades wird. Es geht sodann der Strom den Weg: Elektrode — Schlacke — Metallbad — Schlacke — Elektrode und soll dadurch eine ausgezeichnete Raffination des Schmelzgutes möglich sein. Der Einsatz des Roheisens erfolgt gewöhnlich flüssig mit Schlacke oder unter Zusatz von kaltem Schrot, Kalk und Quarz. Dieser Ofen wurde auch kippbar ausgeführt[2]), wobei der Ofen samt den Elektroden und Elektrodenhältern mittels Zahnsegmentes geneigt wurde. Er besaß auch Winddüsen, welche seitlich angebracht waren. Der Wind wurde auf das Bad geblasen. Die Stahlbereitung nach Héroult wurde in Froges und La Praz mit bestem Erfolge verwendet und ist Héroult so auch auf dem Gebiete der Eisenerzeugung bahnbrechend vorangegangen.

---

[1]) Amerikanisches Patent 721 703.

[2]) Amerikanisches Patent 707 776. Siehe auch Electrochemical Industry 1903, S. 449 u. Zeitschrift für Elektrochemie 1903, S. 556 ff.

In die 4. Periode fällt noch der eigenartige Vorschlag Harmets, welcher eine Abänderung und Verbindung bereits bekannter Methoden vorstellt, wobei insbesondere Héroults Ideen stets wiederzufinden sind[1]).

Harmet verbindet drei Öfen in verschiedener Höhenlage miteinander. Der höchste dient als Röstofen zum Austreiben von Wasser und Kohlensäure und zum Erweichen des Erzes und ist als Schachtofen ausgeführt. Der zweite, von dem Kellerschen Ofen ähnlicher Gestalt mit geringerer Verbreiterung im unteren Teile (Schmelzraum), besorgt die Reduktion der Oxyde und erzeugt Roheisen. Der dritte ist ein Raffinationsofen.

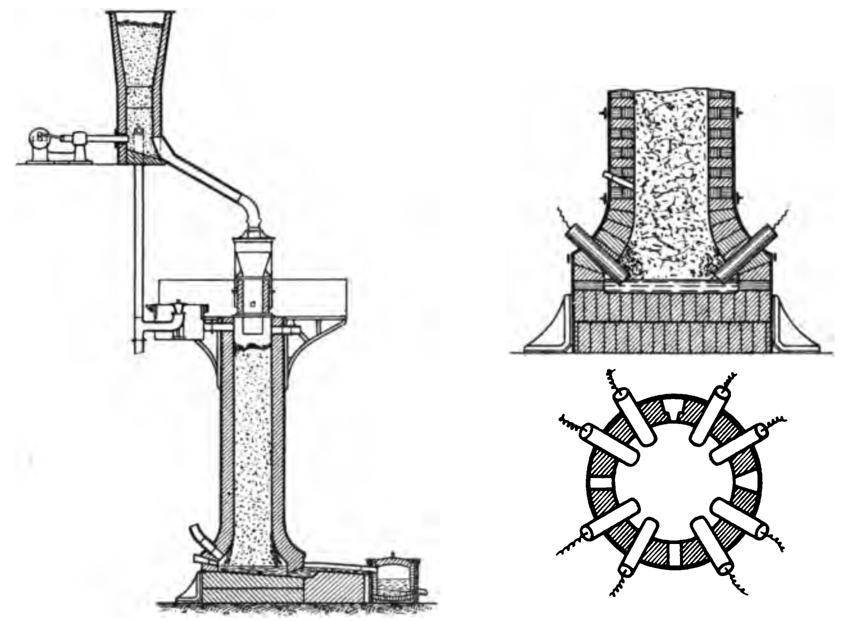


Fig. 37 und 38. Harmet.

Der erste Ofen wird mit Erz und Zuschlag beschickt und erhält seine Hitze durch die Gichtgase des zweiten. In diesen kommt das Produkt des ersten und Koks. Die Elektroden des zweiten Ofens sind rings um den Schmelzraum schief durch die Kehlung gesteckt. Dieser Hochofen besitzt einen Vorherd, eine Ablaufrinne und einen Lürmannschen Schlackenstich. Da die Sohle des Schmelzraumes schief ist, läuft das Metall leicht zum Raffinierofen ab. In letzteren tritt es durch

[1]) D. R. P. 143 111 von 1901 und 142 965 von 1901. Siehe Stahl und Eisen 1904, S. 182 und 765. Nach Eichhoff ist Harmets Verfahren nur eine Nachahmung des Héroultschen, Stahl und Eisen 1907, S. 45. — Zeitschrift für Elektrochemie 1902, S. 851. — The Electro-Chemist and Metallurgist 1902, S. 18.

eine seitlich oben angebrachte Öffnung ein. Im Herdofen sind die beiden Kohlenelektroden zur Vertikalen geneigt durch die Decke eingesetzt. Der Boden weicht wieder wegen leichten Abflusses von der Horizontalen ab.

Das Harmet-Verfahren wurde in der Hütte der Fonderies, Forges et Acieries de St. Etienne vorgenommen und ist dann eine größere Anlage auf der Usine Electrometallurgique in Albertville in Savoyen gebaut worden. Der Erfolg scheint gering gewesen zu sein.

Die Anordnungen von Keller und Harmet, welche Erfinder nach dem Vorhergehenden beide ganze Hochofenanlagen konstruiert haben, unterscheiden sich im wesentlichen dadurch, daß Keller das gesamte Beschickungsmaterial durch einen Schachtofen zuführt, während Harmet zwei getrennte Schächte hat, von denen der eine das Erz samt Zuschlag, der andere die Koke enthält. In beiden Fällen aber schließt sich an den Hochofen ein Raffinierofen an, der sich an die Héroultsche Konstruktion anlehnt[1]). Im Jahre 1902 konstruierte Stassano[2]) einen neuen drehbaren elektrischen Ofen zum Reduzieren von Mineralien und Raffinieren von Metallen. In diesem sollte die Durcharbeitung des Materials infolge der schrägen Lage der Ofenbestandteile zur Achse gründlicher als bisher erfolgen.

Ein weiteres interessantes Verfahren ist jenes von Ruthenburg[3]). Dasselbe nimmt eine Sonderstellung ein, weil sein Apparat einerseits kein eigener elektrischer Ofen ist und andererseits, weil das Verfahren kein flüssiges Metall liefert. Das Verfahren bildet eine Art Zwischenglied zwischen magnetischer Aufbereitung und Schmelzverfahren. Ruthenburg reichert auf eigenen magnetischen Scheidern arme Magneteisensteine bis zum Gehalt von 65—72% Eisen an. Diese sehr reinen und feinen Erze können bei sehr weitgehender Zerkleinerung nicht für sich allein im Hochofen verhüttet werden, da das feine Erz durch den Koks durchläuft und unreduzierbar vor den Windformen ankommt. Er bindet daher diese feinen Erze mit Ton, Kalk und Kohlenwasserstoff an und brikettiert sie. Da die Briketts aber teils nicht gasdurchlässig, teils im Ofen nicht haltbar sind oder zuviel Flugstaub bilden, schickt Ruthenburg diese magnetischen Konzentrate durch einen Schmelzraum, der ein starkes magnetisches Feld bildet, wodurch eine Agglomeration der Erze erreicht wird. Die Beschickung kommt hier in einen Schacht, von diesem in

---

[1]) Jahrbuch für Elektrochemie 1900, S. 523. Siehe auch Borchers' Elektrometallurgie 1903, S. 525 ff.

[2]) Deutsches Reichspatent 144 156 von 1902. Siehe auch S. 44.

[3]) Amerikanisches Patent 687 505 und andere. Siehe Electrochemical Ind. 1902, S. 141 und 1903, S. 202, Iron Age 1903, 14, Transactions Americ. Electrochem. Soc. 1903. S. 103.

einen daneben tiefer stehenden Schmelzraum, welcher unten und seitlich Elektroden besitzt. Versuche nach dem Verfahren Ruthenburgs wurden zu Lockport, N.-Y., ausgeführt.

Ein elektrischer Widerstandsofen ist jener nach dem Kryptolsystem[1]). Bei diesem wird eine Masse aus Kohle und Silikaten, welche durch Graphit und Metall leitend gemacht wird, um den Schmelzapparat gegeben. Die Masse dient als elektrischer Widerstand. Eine bemerkenswerte praktische Anwendung in der Eisenindustrie ist nicht bekannt.

Am Ende der 4. Periode wird auch über mehrere Patente Cowles'[2]) für elektrische Widerstandsöfen berichtet. Diese sind Tiegelöfen, deren Böden und Deckel die Elektroden bilden und aus Kohle bestehen. Die Tiegel können auch mit einem aufgesetzten kleinen Schachte zwecks Vorwärmung des Rohmaterials versehen worden.

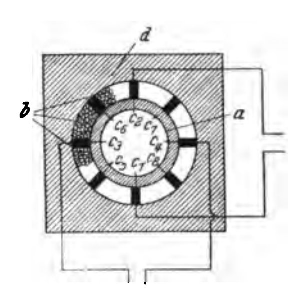



Fig. 39. Kryptol.

*a* zylindrischer Behälter,
*b* Widerstandsmasse,
$c_1, c_2, c_3, c_4$ Elektroden,
$c_5, c_6, c_7, c_8$ Zwischenelektroden,
*d* feuerfestes Gehäuse.

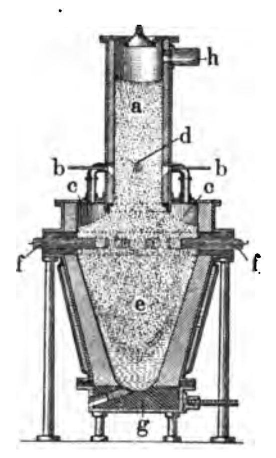



Fig. 40. Cowles.

*a* Schacht,
*b* Winddüsen,
*c* Sammelraum für CO,
*d* Hilfsbrenner,
*e* unterer Ofenteil,
*f* Elektroden,
*g* Bodenelektrode,
*h* Gasabfuhr.

Die Société Schneider & Co. in Le Creusot[3]) nahm ein Patent auf einen elektrischen Ofen zum Erhitzen und Schmelzen von Materialien durch in diesen erregte Induktionsströme. Derselbe besteht aus einem geräumigen Herd mit anschließendem Ringkanal und einem Transformatorrahmen. Der Boden des Herdes und die Rinne sind um zirka 14 % gegen die Horizontale geneigt, um einen starken Umlauf des Materials hervorzurufen.

Wenig Beachtung scheinen die Versuche von Burgers und Hambuechen an der Universität in Wisconsin in der Praxis gefunden zu haben, welche Forscher Eisen aus einem Gemisch von Ferro- und Ammoniumsulfat elektrolytisch mit Erfolg abgeschieden haben. Dieselben berichten unter anderem in der American Electrochemical Society darüber, daß das Produkt eine rauhe Oberfläche habe, welche es nicht ohne weiteres walzfähig mache.

---

[1]) Stahl und Eisen 1904, S. 918.
[2]) Amerikanische Patente Nr. 750 093 bis 750 096.
[3]) D. R. P. Nr. 158 417 von 1903.

Ein Patent Gérards[1]) sieht einen Hochofenschacht mit Elektroden vor, welcher mit Eisenschwamm beschickt wird. Das in demselben erschmolzene Roheisen fließt durch Kommunikationen direkt in den elektrischen Frischherd. Vor dem Frischherd ist eine Hilfsfeuerung, deren Abgase über den Herd in den Schacht und wieder zurück gehen. Die Société Electro-Métallurgique française in Isère will jenen Roheisensorten, welche zu arm an Silizium, Platin und Kohlenstoff sind, um direkt verblasen werden zu können, auf elektrischem Wege Wärme zuführen[2]).

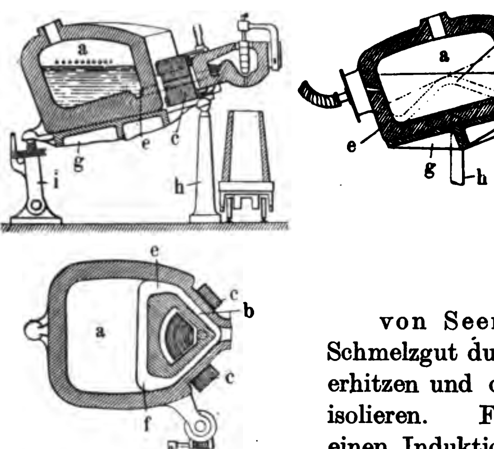



Fig. 41. Schneider.

von Seemen[3]) wollte das Schmelzgut durch Wechselstrom erhitzen und durch Gleichstrom isolieren. Fauchon baute einen Induktionsapparat; Sjöstedt erschmolz aus nickelhaltigen Erzen nickelhaltiges Roheisen. Auch diese Gedanken fanden keinen Anklang.

Im Jahre 1904 wurde von dem kanadischen Minister des Innern eine Studienkommission entsendet, welche, unter Führung Haanels stehend, den europäischen Kontinent besuchte, um die bestehenden Anlagen zur Erzeugung des Eisens auf elektrischem Wege zu studieren. Als Berichterstatter wurde der Metallurge Harbord beigegeben. Da der Bericht derselben[4]) den Stand der Elektro-Eisenerzeugung am Ende der 4. Periode charakterisiert, so soll einiges aus demselben wiedergegeben werden. Er besagt unter anderem mit Bezug auf die damalige Zeit: „Die Roheisenerzeugung im elektrischen Ofen befindet sich noch im Versuchsstadium; es gibt gegenwärtig keine Anlage, in welcher man Roheisen aus Eisenerz durch das elektrische Verfahren mit wirtschaftlichem Erfolge herstellt. Das Verfahren ist nur für

[1]) D. R. P. Nr. 147 326 von 1903.
[2]) D. R. P. Nr. 148 706 von 1903.
[3]) D. R. P. Nr. 150 262 von 1903.
[4]) Iron Age, 10. November 1904.

Gegenden denkbar, wo reiche Wasserkräfte sind und kein Hochofenkoks erhältlich ist."

Elektrische Anlagen zur Stahlerzeugung wurden auf den Kjellinschen Werken in Gysinge in Schweden, auf den nach Héroults Verfahren arbeitenden Werken zu Kortfors in Schweden, zu La Praz in Frankreich und auf dem Werk von Keller in Livet besichtigt. Man kann nach allen drei Verfahren Stahl herstellen, der dem besten Tiegel-Gußstahl gleichkommt und sind die Erzeugungskosten nach Meinung Harbords bedeutend niedriger als jene von bestem Tiegelstahl. Konstruktionsstahl dagegen kann zurzeit nicht billig genug hergestellt werden, um mit Siemens- oder Martinstahl in erfolgreichen Wettbewerb zu treten. Um dies zu erreichen, müßten 30—40 t Einsatz verwendet werden können. Für große Gußstücke aus Tiegelstahlqualität schlägt Harbord vor, mehrere elektrische Öfen in der Weise zusammenarbeiten zu lassen, daß der Stahl in ein gemeinsames Sammelgefäß abgestochen wird, bevor er in die Form kommt. Er glaubt, daß dann ausgezeichnete Erfolge erzielt werden müßten. Diese Mitteilungen zeigen uns, daß man in der Elektrostahlerzeugung bereits mit großem Erfolge gearbeitet hatte, daß jedoch die Roheisenerzeugung und die Herstellung von Konstruktionsstahl noch zu teuer kamen, um erfolgreich verwertet werden zu können.

Jene Verfahren, welche die Herstellung von feinen Stahlsorten in die Praxis eingeführt haben, sind jene von Héroult, Kjellin und Keller, während Stassano damals noch keine nachhaltigen Erfolge erreicht hatte, ebenso wie Conley, Gin, de Laval, Girod, Harmet u. a.

Bezüglich des Hochofenprozesses sagt Borchers[1]), „daß unter allen metallurgischen Betrieben der Hochofenbetrieb mit der sich daran schließenden Gichtgasverwertung zweifelsohne der am besten ausgearbeitete der gesamten metallurgischen Technik ist. Kein Ofen irgendeines Hüttenbetriebes hat bisher eine gleiche Energieausnutzung erreicht. Dadurch stand der Einführung des elektrischen Betriebes für Hochöfen von Anfang an ein Hindernis entgegen."

Neumann[2]) berechnet, daß die Mehrkosten der Erzeugung des Roheisens im elektrischen Ofen $1/4$—$2/3$ der gesamten Gestehungskosten im gewöhnlichen Hochofen ausmachen. Er sagt, „daß in den Eisenindustrieländern der Hochofen also auch in Zukunft die Reduktion der Erze weiter besorgen wird. Auch die Hauptmenge des gewöhnlichen Stahles wird nach wie vor im Martinofen oder Bessemerkonverter

---

[1]) Metallurgie S. 525.

[2]) Stahl und Eisen 1904, S. 947.

hergestellt werden. Dagegen kann der elektrische Ofen in bestimmter Form zur Erzeugung feiner Spezialstahlsorten auch bei uns ökonomische Verwendung finden."

Neumann und Borchers machen in ihren Arbeiten Angaben über die Kosten und den elektrischen Energieverbrauch bei der Erzeugung von 1 t Roheisen oder Stahl und sollen hier einige derselben in abgerundeten oder Mittelwerten wiedergegeben werden[1]).

| Verfahren nach | Erzeugung von | 1 t des Erzeugnisses erfordert Energiebedarf in KWst. | Erzeugungskosten in Mark |
|---|---|---|---|
| Stassano | Roheisen aus Erz | 3150 | 100 |
| Keller | " | 2800 (3420) | 80 |
| Harmet | " | 2570 (gerechnet) | — |
| Conley | " | — | 70 |
| Héroult | " | (3380) | — |
| Rossi | " | (3350) | — |
| Gin | Stahl aus flüssigem Einsatz | 600 | — |
| Harmet | " | 620 | — |
| Keller | " | 690 | — |
| Conley | Stahl aus kaltem Einsatz | 920 | 114 |
| Héroult | " | 880 | — |
| Kjellin | " | 970 | 170 |
| Keller | " | (800) | — |
| Stassano | Stahl aus Erz | 5180 | — |

Der Strompreis wurde zwischen 40 bis 84 M. pro Pferdekraft-Jahr angenommen.

Neumann rechnet als mittleren Energieverbrauch für die Erzeugung von:

| | |
|---|---|
| Roheisen aus Erz . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 3 000 KWst. |
| Stahl aus flüssigem Einsatz[2]) . . . . . . . . . . . . | 650 " |
| Stahl aus kaltem Einsatz. . . . . . . . . . . . . . . . | 925 " |
| Stahl aus Erz . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 3 800 " |
| Für die Erzeugung von Eisen aus Erz auf elektrolytischem Wege . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 15 000 " |

Der Vergleich dieser Zahlen deutet an, um wieviel die elektrolytische Eisenerzeugung teurer kommt als jene auf elektrothermischem Wege, womit die Begründung gegeben ist, warum man sich mit ersterer verhältnismäßig wenig befaßte und auch wir die Besprechung des

[1]) Die von der kanadischen Kommission mitgeteilten Energieverbrauchsangaben weichen von diesen Werten mehrfach ab. Sie sind durch in Klammern gesetzte Zahlen gekennzeichnet.

[2]) Dürfte auf Schrot zu beziehen sein.

elektrolytischen Verfahrens in den folgenden Abschnitten einschränken können.

Daß die mit der Eisenerzeugung in unmittelbarem Zusammenhange stehende magnetische Separation der Erze zur Zeit der kanadischen Kommission bereits sehr beliebt war, ist nach den Ergebnissen der 3. Periode unserer Geschichte naheliegend. Sie wurde in der 4. Periode insbesondere in Skandinavien geübt.

**5. Periode von der kanadischen Kommission im Jahre 1904 bis zu den ersten nachhaltigen Erfolgen der elektrischen Roheisenerzeugung in Schweden vom Jahre 1909.** In diesem Zeitabschnitt findet die Stahlerzeugung auf elektrischem Wege große Verbreitung und wird eine Reihe von Versuchen zur Roheisenerzeugung und direkten Verhüttung der Erze durchgeführt. Des Umfanges und der Übersichtlichkeit halber sollen die Arbeiten auf den beiden Gebieten der Reduktions- und Raffinationsprozesse in diesem Zeitabschnitte, soweit dies möglich ist, getrennt behandelt werden.

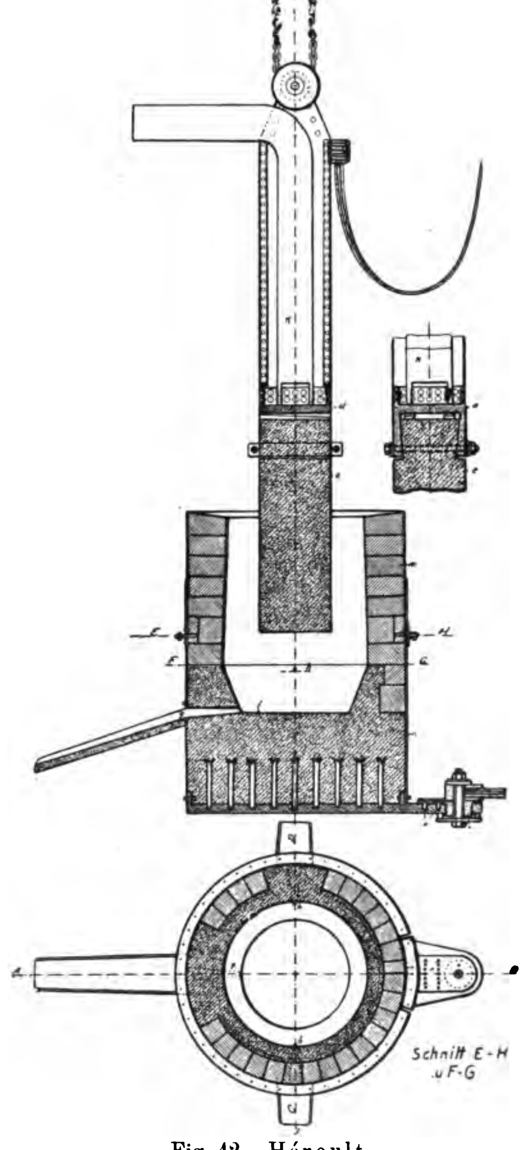



Fig. 42. Héroult.

Die Roheisenerzeugung wurde über Anregung der kanadischen Kommission von Héroult in Sault Sainte Marie in Ontario (Kanada)

im großen Maßstabe versucht. Der hierbei verwendete Hochofen besaß einen ausgehöhlten Kohlenblock als unteren Teil des Ofens. Über diesem stand ein gemauerter Schacht aus feuerfestem Material. Die Stromzuführung geschah durch hängende Kohlenelektroden. Der Ofen ähnelt jenem in La Praz (siehe S. 27).

Über die gelungenen Arbeiten Héroults berichtete Haanel vor dem Canadian Club[1]). Es gelang aus hochschwefelhaltigen Erzen fast schwefelfreies Roheisen zu machen und den Siliziumgehalt des Produktes nach Wunsch zu regeln.

Nach Cirkel[2]) hatte die kanadische Kommission folgende Fragen nicht beantworten können:

„1. Kann Magnetit, welches eines der am häufigsten vorkommenden kanadischen Erze ist und welches bis zu einem gewissen Grade ein Leiter der Elektrizität ist, auf elektrischem Wege reduziert werden?

2. Kann aus Eisenerzen mit bedeutendem Schwefelgehalt ein Roheisen von marktfähiger Zusammensetzung hergestellt werden?

3. Kann Holzkohle, aus Sägemühlenabfällen gewonnen oder von andern Quellen stammend, als Ersatz für Koks dienen, der unter erheblichen Kosten eingeführt werden muß?

4. Wie hoch stellt sich der Verbrauch an elektrischer Energie für die Tonne erzeugtes Roheisen?“

Um die Versuche durchzuführen, welche zur Beantwortung dieser Fragen notwendig waren, widmete die kanadische Dominial-Regierung 15 000 Dollar, worauf Héroult seine Versuche vornahm.

Als Ergebnis der Héroultschen Arbeit wurde folgendes bekanntgegeben:

„1. Kanadische Eisenerze, namentlich Magnetit, lassen sich auf elektrischem Wege gewinnbringend verarbeiten.

2. Aus Eisenerzen mit hohem Schwefelgehalte kann ein Eisen mit nur wenigen Tausendstel Prozent Schwefel erzeugt werden.

3. Der Gehalt an Silizium kann nach Willkür vermehrt oder verringert werden.

4. Holzkohle, welche aus Sägemühlenabfällen billig hergestellt werden kann und Torfkoks können die Kohle ersetzen, ohne früher mit dem Erz brikettiert zu werden.

5. Aus nickelhaltigem Pyrrhotit kann Nickel-Roheisen von guter Qualität und praktisch frei von Schwefel hergestellt werden.

6. Pyritabfälle, die als Rückstände bei der Schwefelsäure-Fabrikation gewonnen werden, können ebenfalls zur Eisenerzeugung verwendet werden.

---

[1]) Electrochemical and Metallurgical Industry, April 1906.

[2]) Stahl und Eisen 1906, S. 868.

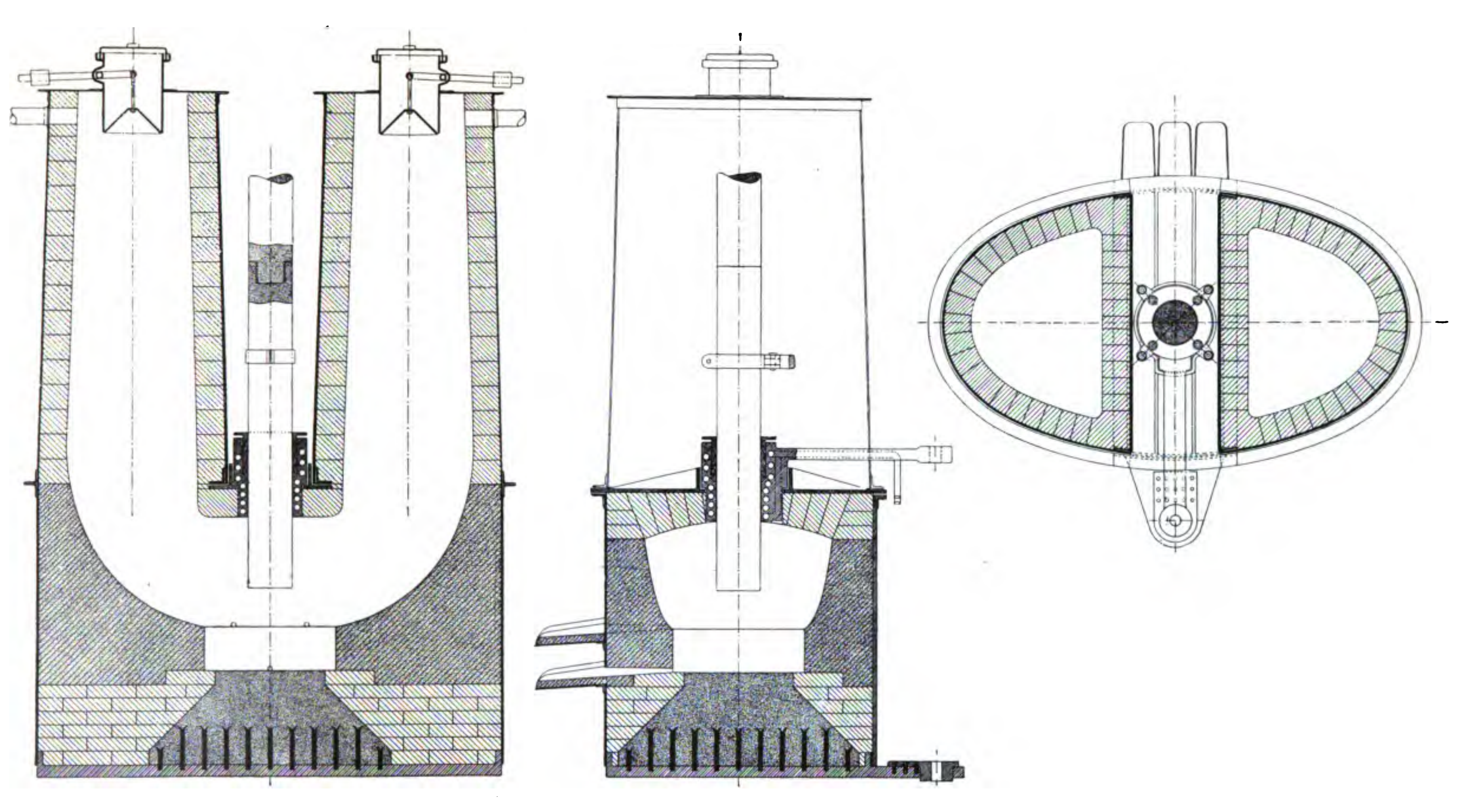


Fig. 43 bis 45. Héroults elektrischer Doppelschachtofen.

7. Titanhaltige Eisenerze, bis zu 5% Titan enthaltend, können auf elektrischem Wege vorteilhaft verarbeitet werden."

Die Kosten des Roheisens sollten nach Héroult 44,90 M. pro 1 t betragen.

Für 1 t Roheisen wurden 1700—2000 KWst. benötigt. Der Leistungsfaktor des Ofens soll 0,919 betragen haben gegenüber 0,564 jenes in Livet.

Haanel und Héroult haben sodann noch eine neue Ofenkonstruktion ersonnen, damit der Strom mit einer bestimmten Dichte durch das Schmelzgut zur Bodenplatte trete. Es wurden zwei Schächte gebaut und zwischen diese der Herd mit der Bodenplatte aus Kohlenmasse gestellt. Derselbe war natürlich eng an die Schächte angeschlossen; durch seine Decke ging die vertikale Kohlenelektrode. Weitere Öfen nach Héroult wurden in Welland in Ontario von Turnbull und Wolf errichtet.

Trotz der angeblichen günstigen Erfolge der Héroultschen Versuche, haben dieselben noch nicht zur ständigen elektrischen Roheisenerzeugung in Kanada geführt. Man baute lieber Hochöfen, da die Bedingungen für elektrische Anlagen nicht genügend günstig waren [1]). Dies bestätigt Dushner in einem Vortrage vor der Ontario Society of Chemical Industry, in welchem er unter anderem berichtete, daß das Haus der Gemeinen in Toronto Prämien für Arbeiten betreffend die Erzeugung von Stahl und Roheisen aus kanadischen Erzen ausgesetzt hat [2]).

Ein anderer Versuch Héroults zur Roheisenerzeugung im elektrischen Ofen fand in einer Anlage der Noble Electric Steel Co. on the Pitt in Kalifornien statt [3]).

Ein Vorschlag Turnbulls ging dahin, einen Zentralschacht zu bauen, von welchem sechs schiefe Ebenen das Erz in einen ringförmigen Schmelzgraben befördern. Zwischen den Enden dieser schiefen Zuführungsrutschen sind die Kohlenelektroden vertikal aufgehängt. Diese sind mit dem gleichnamigen Pole des elektrischen Stromes verbunden, indes der andere Pol von dem aus Kohlenmasse bestehenden Boden der Schmelzrinne gebildet wird. Die Gichtgase gehen vom oberen Ende des Schachtes seitlich in einen gegen die Horizontale etwas geneigten rotierenden Zylinder, durch welchen das Beschicken des Schachtes erfolgt. In diesem Zylinder sollen die Gichtgase verbrannt werden, damit die Beschickung vorgewärmt in den Schacht komme.

---

[1]) Iron Age 1907, April.

[2]) Iron Trade Review 1907, April.

[3]) Siehe unter anderem auch Bennie, Bericht über die elektrische Roheisenerzeugung in Kalifornien, Stahl und Eisen 1909, S. 1240 ff. und The Iron Age 1909, S. 1490.

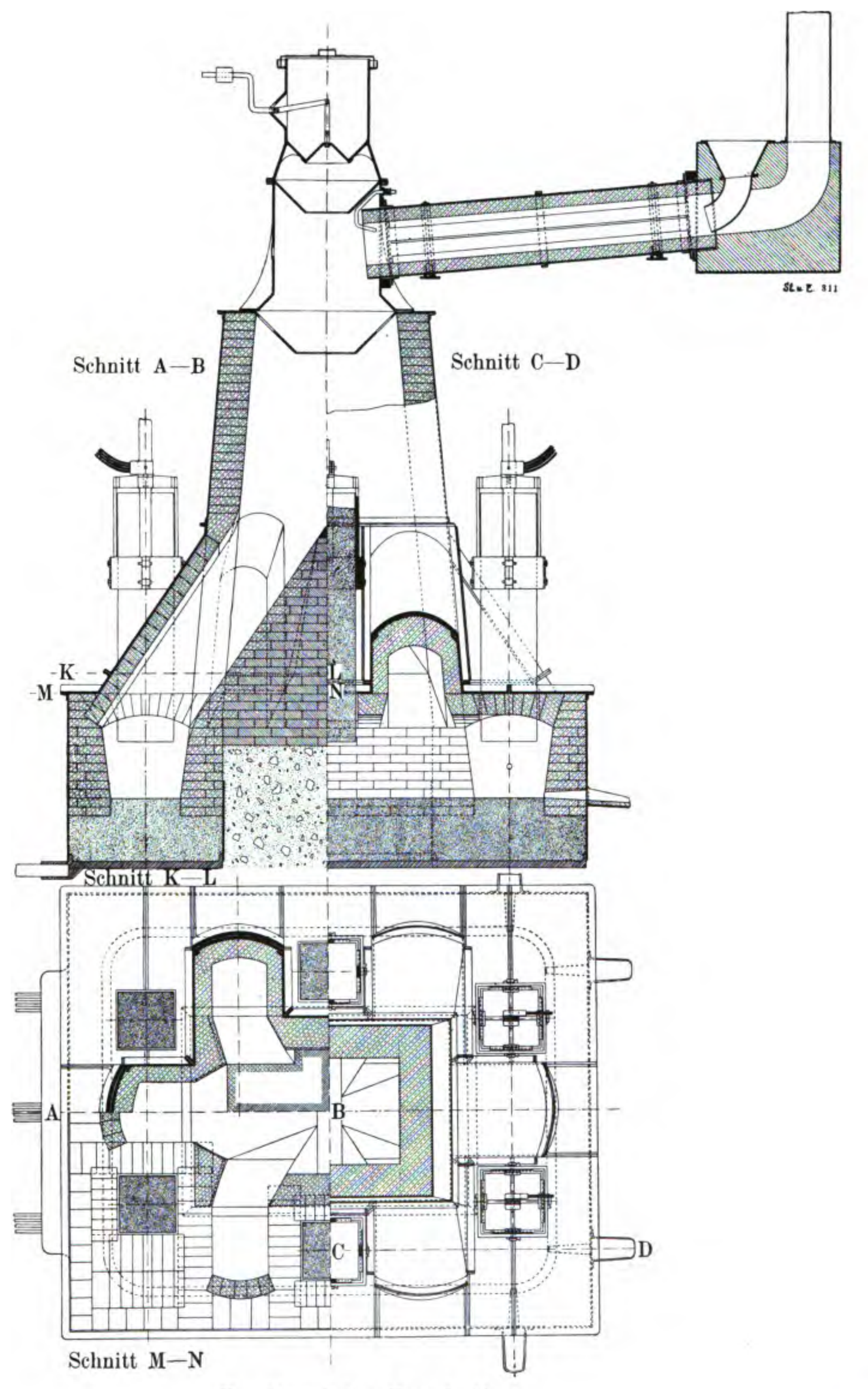



Fig. 46 und 47. Turnbull.

Zu dieser Zeit versuchte Galbraith[1]) in Neu-Seeland aus Eisensand Eisen elektrisch zu gewinnen. Er ließ das Erz über eine Schar von durch den elektrischen Strom geheizten Brücken aus schlechten Leitern fallen (Fig. 48).

Dr. Day führte Versuche aus, um den an der Küste Kaliforniens mehrfach auftretenden Magneteisensand mittels Elektrizität zu schmelzen. Day verwendete einen Tiegelofen, in dessen Boden gebrochene Elektrodenkohle zur Stromleitung eingemauert war, während die Stromzuführung durch oberhalb befindliche Kohlenelektroden stattfand. Er arbeitete nach Héroults Gedanken und nicht ohne Erfolg.

Die Stora Kopparbergs Aktiebolag widmete 100 000 K. für Versuche der Verarbeitung des Eisenerzes und schloß mit dem Erfinder Grönwall wegen Errichtung einer Schmelzanlage für 10 000 t Jahreserzeugnis einen Vertrag ab.

Stassano probierte es in seinem neuen rotierenden Ofen in Turin, das Erz direkt zu verhütten[2]). Lodyguine stellte Versuche mit titanhaltigen Eisenerzen an. Er wollte 67 M. Gesamtherstellungskosten für 1 t Roheisen erhalten, wobei er für 31 M. titanhaltige, wertvolle Nebenprodukte rechnete, z. B. Ferrotitan, Titankarbid, so daß die Kosten des Haupterzeugnisses nur 36 M. betragen hätten.

Wallin hatte bereits 1904[3]) ein Patent angemeldet, nach welchem er Erze u. dgl. in einem elektrischen Schachtofen verarbeiten konnte. Der unter dem Schachte befindliche Ofenherd war durch Einbau einer hohlen Brücke schleifenartig ausgebildet worden. Ein Transformator ging um den Herd und durch die Brücke, um den Induktionsstrom im Schmelzgute zu erzeugen. Dabei war die Ausnutzung der Wärme sehr günstig gedacht, da das oberhalb der Brücke befindliche erweichte, aber doch nicht flüssige Material den größeren Widerstand hat und daher mehr Elektrizität in Wärme umsetzen kann als das bereits geschmolzene Gut. Letzteres sollte nur soviel Wärme aufnehmen, als zum Flüssigbleiben notwendig war. (Fig. 49.)

Ruthenburg[4]) schlug einen elektrischen Schachtofen vor, an dessen oberem Ende 2 Eisenwalzen sind. Durch diese und das zwischen den Walzen durchzuführende Erz sollte der Strom durchfließen und so genügend Hitze erzeugen, um das Erz zum Sintern zu bringen und es in poröse Stücke umzuwandeln. Der Vorschlag stellt also einen elektrischen Hochofen vor, in welchem die Beschickung zwischen an der

---

[1]) D. R. P. 166 160 von 1903.

[2]) Zeitschrift für Elektrochemie 1906, S. 274. Siehe auch S. 44.

[3]) D. R. P. 183 622, 1904.

[4]) Patent der Vereinigten Staaten von Nordamerika 818 918.

Gicht befindlichen Walzen eingebracht wird und welchem auch Reduktionsgase zugeführt werden[1]).

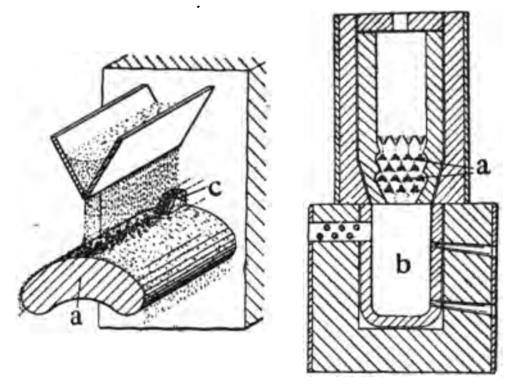
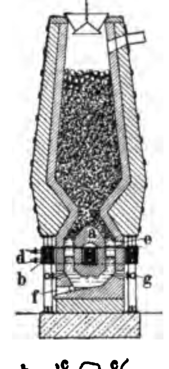



Fig. 48. Galbraith.
*a* Brücken, *b* Herd, *c* Stromleiter.



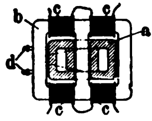




Fig. 49. Wallin.
*a* Hohle Brücke,
*b* Transformatorkörper,
*c* Spulen,
*d* Kühlrohre,
*e* Schlackenabstich,
*f* Metallabstich,
*g* Gebläsedüsen.

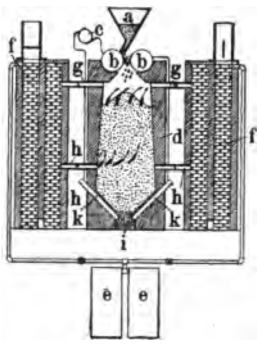



Fig. 50. Ruthenburg.
*a* Fülltrichter,
*b* Walzen,
*c* Elektrizitätsquelle,
*d* Schachtofen,
*e* Retorten für Gaserzeugung,
*f* Wärmespeicher,
*g*, *h* sperrbare Kanäle,
*i* Herd,
*k* Elektroden.

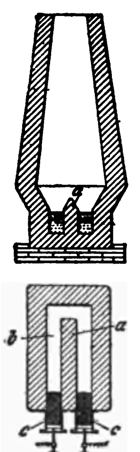



Fig. 51. Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget.
*a* Damm,
*b* Schmelzrinne,
*c* Elektroden.

Die Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget in Westeras[2]) in Schweden konstruierte einen Schachtofen, bei welchem der Herd U-förmig oder gewunden als Rinne ausgebildet wurde, um

[1]) Siehe auch S. 30.
[2]) D. R. P. 190 680 von 1905.

einen großen Widerstand zu erreichen. Die Elektroden waren an den Enden der Rinne angebracht. Der Ofen sollte zur Erzeugung von Roheisen und Stahl dienen. Der Unterschied dieses Ofens gegenüber dem oben besprochenen von Wallin besteht nur in der Art der Stromerzeugung.

Wallin[1]) hat übrigens seine Erfindung noch dahin ergänzt, daß er die Herdschleife seitlich erstreckte, um den Transformatorrahmen dortselbst besser anbringen zu können. Die Schleife wird dabei vom Magnetrahmen des Transformators umfaßt und durchkreuzt. Anschließend an diesen Herd wird ein Sammelraum für das erschmolzene Eisen vorgesehen.

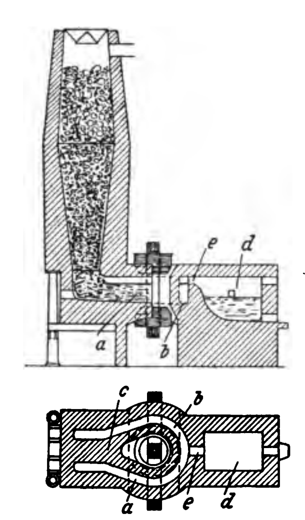



Fig. 52. Wallin.
a, b Schleifenkanal,
c Brücke,
d Sammelraum,
e Verbindungsöffnung.

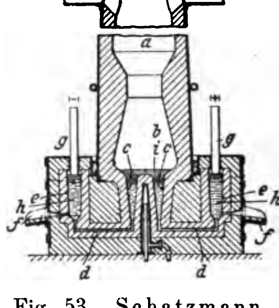



Fig. 53. Schatzmann.
a Schachtofen,
b Schmelzraum,
c innerer Sammelraum,
d Verbindungskanal,
e äußerer Sammelraum,
f Abstich,
g Elektroden,
h flüssiges Schmelzgut,
i Schlacke.

Schatzmann[2]) nahm ein Patent auf einen elektrischen Reduktions- und Schmelzofen. Ein Schachtofen, dessen Herd in vier vertikale, nach unten sich verengende Sammelräume zerlegt ist, welche durch enge Kanäle mit ebensoviel äußeren Sammelräumen verbunden sind. In diese äußeren Räume ragen die Elektroden hinein. Der Strom geht demnach den Weg: Elektrode — äußerer Schmelzraum — Kanal — innerer Sammelraum — Schlacke — innerer Sammelraum — Kanal — äußerer Schmelzraum — Elektrode. Die Brücke, welche die vier Innenräume voneinander trennt, ist dabei von flüssiger Schlacke und zwar

[1]) D. R. P. 196 156 von 1906.
[2]) D. R. P. 197 525 von 1906.

nur von dieser überdeckt gedacht, um einerseits den Schluß des Stromkreises zu bewirken und andererseits den Widerstand entsprechend zu vergrößern.

Ein neuer Gedanke de Lavals[1]) zur Gewinnung von Eisen aus Eisenerzen fand keine Beachtung.

Später schlug Richards unter dem Titel „Die Reduktion der Eisenerze im elektrischen Ofen“ vor, den Hochofenprozeß dadurch zu fördern, daß man Wärme mit Hilfe des elektrischen Stromes zuführt. Dies könne eventuell durch Überhitzung des einzublasenden Windes auf elektrischem Wege geschehen[2]).

Die erwähnten Öfen bestanden dem Wesen nach aus einem Schachte, der über einem Schmelzraum steht. In diesen ragten die Elektroden hinein. Während man in Kalifornien Luft in den Schacht einblies, ließen die Schweden die Gichtgase wieder in den Schmelzraum gelangen.

Von den elektrischen Reduktionsöfen dieses Zeitabschnittes wurden nur wenige in die Wirklichkeit umgesetzt. Man interessierte sich insbesondere in Nordamerika und in Skandinavien dafür, ohne daß auch wirtschaftlich nachhaltige Erfolge verzeichnet werden konnten.

Neumann[3]) sagt daher im Jahre 1909, daß die elektrischen Hochofenanlagen noch in den Kinderschuhen stecken, indessen Härden[4]) nachwies, daß der Elektroofenprozeß noch immer teurer käme als der des gewöhnlichen Hochofens. Er gab aber zu, daß wesentliche Fortschritte auf dem Gebiete der elektrischen Roheisengewinnung zu verzeichnen waren. Während früher 3000 KWst. für die Darstellung von 1 t Roheisen benötigt wurden, genügten angeblich nunmehr nur 1700—2000 KWst.

Zu Ende dieses Zeitabschnittes wurde eine große elektrische Hochofenanlage in Donmarvfet von der Electrometall-Aktiebolaget in Ludvika nach den Ideen der Ingenieure Grönwall, Lindblad und Stalhane in Schweden gebaut, welche für 1000 PS und Drehstrom bestimmt war. In diesem Werke wurde die Erzeugung sofort mit Erfolg aufgenommen und wird darüber in der nächsten Periode berichtet werden. Immerhin kann mit Bezug auf die 5. Periode der Elektroeisenerzeugung gesagt werden, daß die Erfolge auf diesem Gebiete bisher groß genug waren, um neue Arbeiten anzuregen. Es bestand, um mit Neumann zu sprechen, die Hoffnung, daß von dem elektrischen Reduktionsprozeß noch manches zu erwarten sei.

---

[1]) Amerikanisches Patent 913 405. Stahl und Eisen 1908, S. 1400.
[2]) Stahl und Eisen 1909, 1241.
[3]) Hochofen und elektrischer Ofen. Stahl und Eisen 1909, 276.
[4]) Electrochemical and Metallurgical Industry 1909, Bd. 7, S. 16.

Die Stahlerzeugung auf elektrischem Wege schritt in dieser Zeit rüstig vorwärts.

Im Jahre 1906 konnte man über folgende in Betrieb oder im Bau befindliche Anlagen berichten:

Héroult-Öfen in La Praz und St. Michel in Savoyen, Kortfors in Schweden, Remscheid in Deutschland, Syrakuse in New York;

Kjellin-Öfen in Gysinge in Schweden, Gurtnellan, bei Krupp in Essen, bei der Poldihütte in Prag, Gleiwitz in Schlesien, Sheffield in England;

Keller-Öfen in Kerrousse und Livet in Frankreich;

Girod-Öfen in Ugine (Savoyen) und Courtepin in der Schweiz usw.;

Gin-Öfen in Plettenberg und Oberhasli (Schweiz).

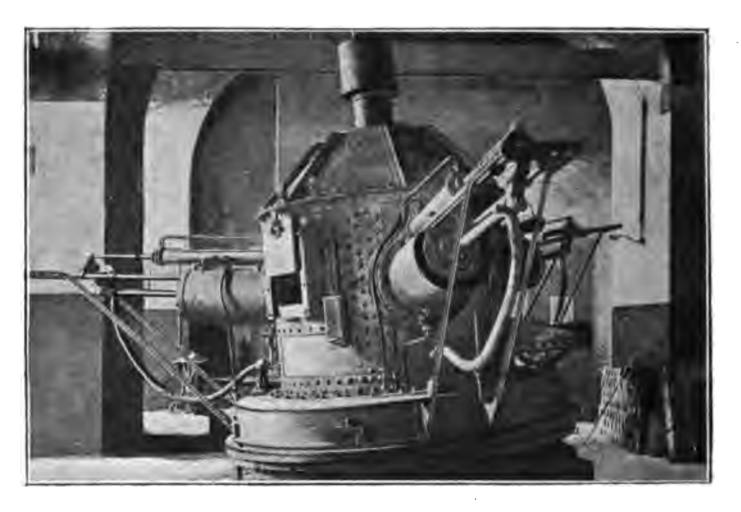


Fig. 54. Drehbarer Stassano-Ofen für 800 kg Chargengewicht (Königl. Artilleriearsenal, Turin).

Stassano hatte mehrere Öfen konstruiert. Er hatte Öfen mit schrägem Boden und drei Paar Elektroden gebaut und zwei derselben zwecks besserer Kraftausnützung nebeneinander aufgestellt. Er hatte bei den ersten Versuchen Briketts zur Beschickung verwendet, welche aus Erz, Kalk, Holzkohle und Teer bestanden. Sodann stellte er nach geringen Erfolgen mit diesen früheren Konstruktionen rotierende Öfen in Turin her. Sie waren um eine zur Vertikalen geneigte Achse drehbar, wodurch eine gute Durchmischung des Bades erhalten werden sollte. Er versuchte es auch wieder, in einer Operation direkt aus den Erzen Eisen und Stahl herzustellen. Diese Möglichkeit sollte das Wesentliche und Charakteristische des Stassano-Prozesses bilden. Bei

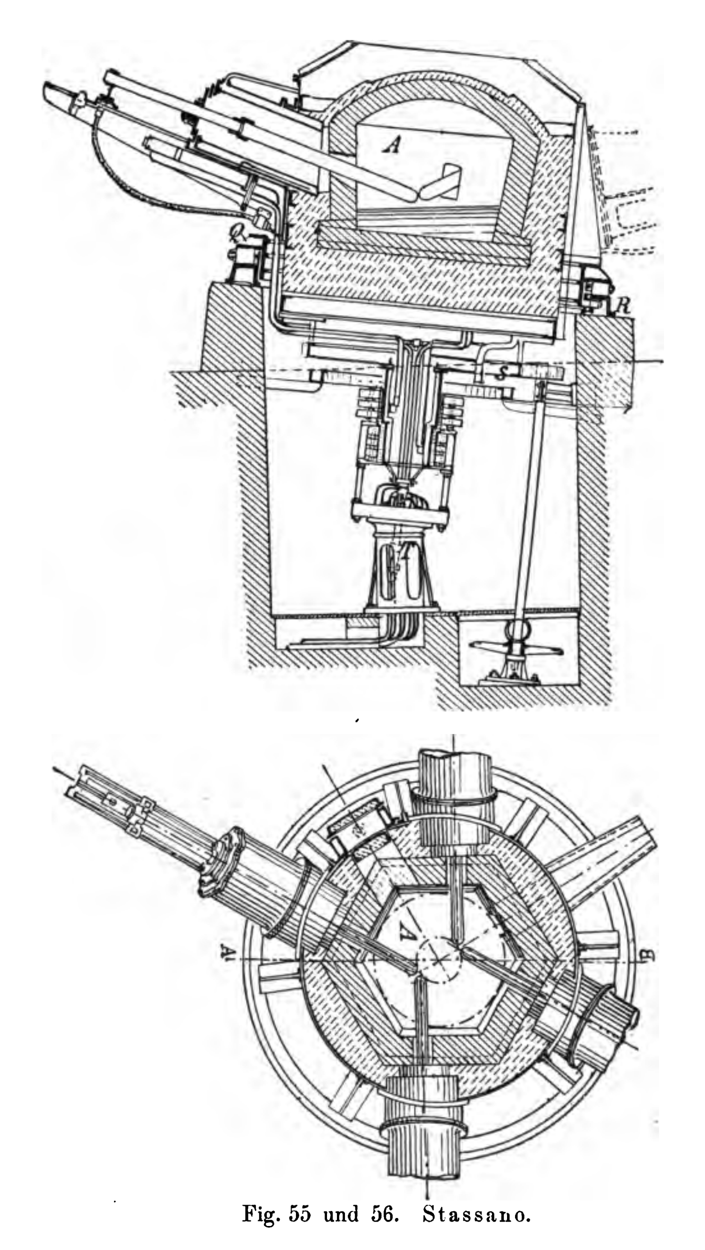



Fig. 55 und 56. Stassano.

der Forni Termoelettrici Stassano-Gesellschaft sollen drei solcher Öfen in Betrieb gekommen sein[1]).

---

[1]) Iron and Coal Trades Review, 13. April 1906.

Aus einem Berichte Goldschmidts[1]) ist hingegen zu entnehmen, daß Stassano das Einschmelzen der Erze praktisch aufgegeben hatte und nur mehr raffinierte. Goldschmidt gab diesbezüglich der Meinung Ausdruck, daß Stassano ebenso vorteilhaft arbeiten könne wie Kjellin und Héroult mit ihren Öfen. Es sei ein Vorteil, daß die Schlacke gut erhitzt werde.

Angeblich soll Stassano weiches Eisen, Spiegeleisen, Ferromangan und Ferrochrom in seinen Öfen erschmolzen haben.

Kjellin suchte seinen Ofen dadurch zu verbessern, daß er die Spule mit einem geschlitzten Schutzmantel umgab, um so die Windungen vor der Hitze des Bades zu schützen[2]). Das Prinzip des Ofens wird dadurch nicht geändert.

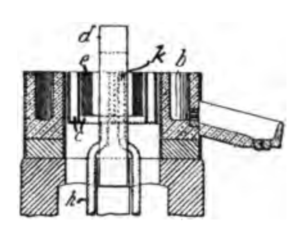



Fig. 57. Kjellin.
*b* Schmelzkammer,
*c* Schutzmantel,
*d* Eisenkern,
*e* Spule,
*h*, *k* Rohre für Wasserkühlung,

Die Schneidersche Idee eines Induktionsofens wurde 1904 durch ein neues Patent, mit Elektrodenheizung zu kombinieren versucht[3]). Dieser Ofen sollte bestehen aus einem Schmelzherd und einem außerhalb liegenden Sumpf, welcher durch zwei Kanäle mit dem Herde in Verbindung ist. Ein doppeltes Transformatorjoch umgibt die Kanäle, um den Induktionsstrom zu erzeugen. In den Schmelzherd ragen zwei Elektroden schief durch die Seitenwände hinein und geben einen oberhalb des Bades befindlichen Lichtbogen. Es findet daher eine Erhitzung mittels Lichtbogen und mittels Induktionsstrom statt. Dabei ist der Ofen um zwei horizontale, aufeinander normal stehende Achsen drehbar. Eine Drehung wird durch Rollen, die zweite durch einen Rahmen mit Drehzapfen ermöglicht. Schneider sieht auch Winddüsen vor, welche im Bedarfsfalle verwendet werden sollen.

Gin wollte seinen Ofen dahin ändern, daß er vier gewundene Kanäle und darüber vier Herde baute[4]). Das flüssige Material fließt abwechselnd durch Herd und Kanal, wobei in den ersteren raffiniert, in den Kanälen erhitzt wird (Fig. 58 bis 60).

Das Material und der elektrische Strom gehen hintereinander durch sämtliche Ofenräume und wird der Kreislauf des Bades durch den hydrostatischen Druck hervorgerufen. Die Kanäle werden durch reine Widerstanderhitzung bei direkter Stromzuführung geheizt.

---

[1]) Versammlung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf 1906.
[2]) Patent der Vereinigten Staaten von Amerika 800 857.
[3]) Metallurgie 1904, S. 445. — Amerikanisches Patent 763 330 von 1904.
[4]) D. R. P. 175 815 von 1905.

Ein anderer Gedanke[1]) desselben Erfinders ging dahin, die Raffination in einem mehrräumigen elektrischen Ofen vorzunehmen, in welchem das Metall ununterbrochen die verschiedenen Abteilungen des Ofens durchfließt und dabei der Oxydation, Reduktion und Rück-

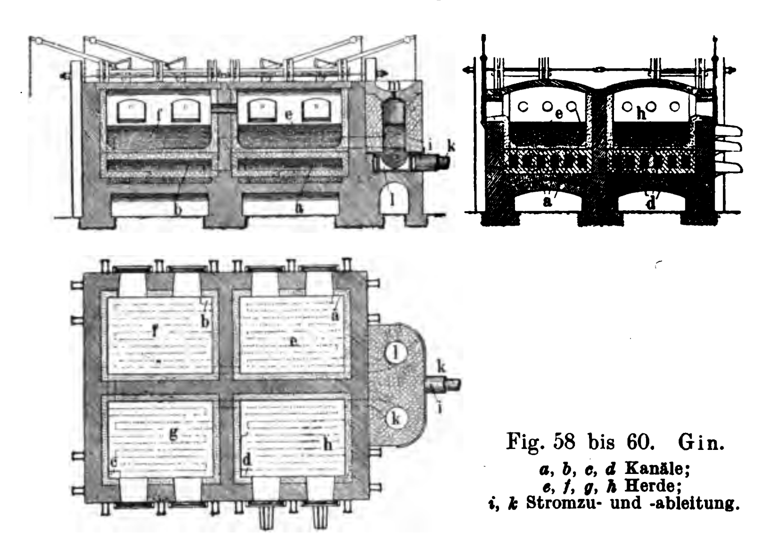



Fig. 58 bis 60. Gin.
*a, b, c, d* Kanäle;
*e, f, g, h* Herde;
*i, k* Stromzu- und -ableitung.

kohlung unterworfen wird. Er dachte sich drei nebeneinander befindliche Kammern: in der ersten wird geschmolzen, gereinigt und oxydiert, in der zweiten entoxydiert und gekohlt, in der dritten fertig raffiniert (Fig. 61 u. 62). Die Stromzufuhr erfolgt ausschließlich durch drei Elektroden der ersten, die Stromabfuhr durch je zwei Elektroden der andern Kammern. Die erste sollte daher die größte Hitze erhalten. Die Richtung, in welcher das Bad zu fließen hat — von der ersten über die zweite in die dritte Kammer — sollte durch entsprechendes Heben und Senken der Elektroden erhalten werden. — Gin[2]) versuchte in weiterer Verfolgung seiner Ideen, die Schmelzrinne auch mit stufenförmigen Erweiterungen und Verengungen zu versehen, wodurch er auch wieder ein ständiges Strömen des Bades in einer Richtung hervorrufen wollte (Fig. 63).

Ein später bewilligtes, von ihm bereits 1905 angemeldetes Patent[3]) betrifft die Heizung seines Ofens durch Induktion, zu welchem Zwecke

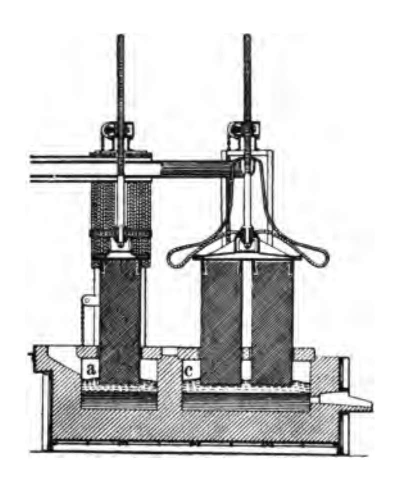
[1]) D. R. P. 181 888 von 1905.

[2]) D. R. P. 189 202 von 1906. — Diese öfter wiederkehrende Idee der wechselnden Verengung und Erweiterung des Badquerschnittes zu dem Zwecke einer besseren Durchmischung und Strömung des Bades halten Engelhardt und andere für sehr überflüssig. Der Gedanke ist tatsächlich kaum in die Praxis umgesetzt worden.

[3]) D. R. P. Nr. 197 383 von 1905.

er die gewundene Rinne schließen mußte, um die Bildung eines sekundären Stromkreises zu ermöglichen (Fig. 64).

Eichhoff berichtete über einen Induktionsofen Gins, in welchem die Erwärmung getrennt von dem Raume des metallurgischen Prozesses vorgenommen werden soll[1]. Der Ofen besteht aus zwei Herden, deren Böden nach entgegengesetzten Seiten geneigt sind. Dieselben sind durch zwei Kanäle miteinander verbunden, welche von dem tiefsten Punkte des einen Herdes zum höchsten Punkt des anderen führen und als Heizkanäle dienen. Auch hier soll eine schnelle ringförmige Bewegung des Bades erfolgen. Ob diese Ideen zur Ausführung kamen, ist dem Verfasser nicht bekannt. Gin wollte in seinen Öfen auch titanhaltige Erze reduzieren[2].



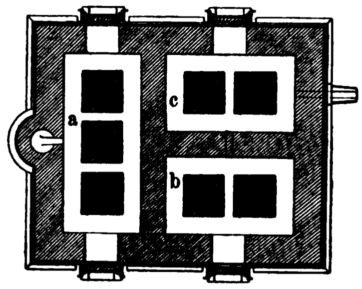




Fig. 61 und 62. Gin.
*a* Schmelzkammer,
*b* Kammer für Entoxydierung und Kohlung,
*c* Kammer für Fertigmachen des Stahles.

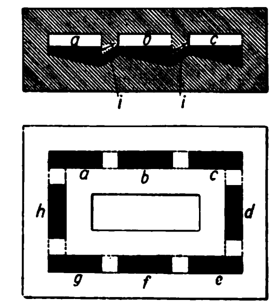



Fig. 63. Gin.
*a, b, c, d, e, f, g, h* Kanäle.
*i* Verengungen.

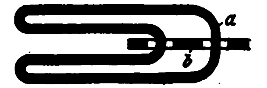



Fig. 64. Gin.
*a* Schmelzrinne,
*b* Induktionsapparat.

Fricks[3] elektrischer Transformatorofen ist ein Induktionsofen nach Kjellin, bei welchem der Deckel ringförmig in bezug auf die

[1] Stahl und Eisen 1907, S. 42.
[2] Chemiker-Zeitung 1907, S. 739.
[3] D. R. P. Nr. 180 227 von 1904.

Schmelzrinne drehbar und aus einem Stück hergestellt ist. Es kann entweder die Rinne feststehen und der Deckel gedreht werden oder umgekehrt. Dadurch wird erreicht, daß nur wenige Öffnungen in der Decke nötig sind, wenn eine gleichmäßige Beschickung während des Betriebes ohne Abheben des Deckels vorgenommen werden soll und

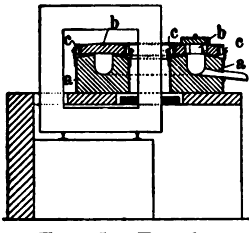


Fig. 65. Frick.
*a* Ofen, *b* Deckel, *c* Rollen.

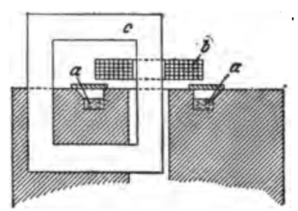


Fig. 66. Frick.
*a* Schmelzbad, *b* Primärspule, *c* Magnetkern.

werden unnötige Wärmeverluste vermieden. Beim Frickschen Ofen sollen nach einem anderen Patente[1]) die Transformatorspulen flach ausgebildet und über bzw. unter der Schmelzrinne angebracht werden.

Die Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen in Neu-Babelsberg bei Berlin[2]) nahm ein Patent auf einen elektrischen Induktionsofen mit ringförmiger Schmelzrinne, bei welcher zwecks guter Mischung des Schmelzgutes eine fortlaufende Änderung der Neigung bzw. Neigungsrichtung des Herdes erfolgt. Der Schmelzherd kann z. B. mittels dreier Füße auf einer kreisförmigen geneigten Scheibe aufstehen, welche sich ständig dreht.

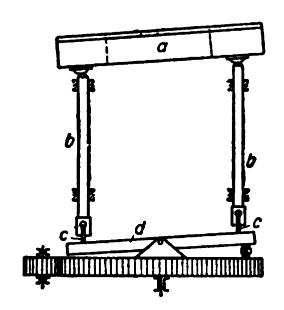


Fig. 67. Zentralstelle.
*a* Schmelzrinne,
*b* Stützen,
*c* Rollen,
*d* Kreisscheibe.

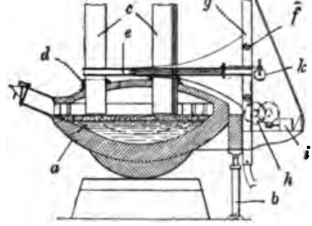


Fig. 68. Héroult.
*a* Herd,
*b* hydraulische Kippvorrichtung,
*c* Elektroden,
*d* wassergekühlte Stopfbüchsen,
*e* Elektrodenträger,
*f* Führungsrollen,
*g* verschiebbarer Balken,
*h* Zahnradvorgelege,
*i* Motor,
*k* Rad.

Héroult schlägt ein Stahlmischverfahren vor[3]), indem er einen Mischer anwenden will, in welchem das Gemenge mehrerer Chargen durch Lichtbogenerhitzung

[1]) D. R. P. Nr. 190 272 von 1904.
[2]) D. R. P. Nr. 187 100 von 1906.
[3]) Amerikanisches Patent Nr. 807 027.

heiß gehalten wird. Wenn man durch Zufluß von Gasen eine reduzierende Atmosphäre schafft, kann eine Reinigung des Metallbades im Mischer gefördert werden.

Waldo[1]) will in einem elektrischen Induktionsofen den Induktionsstrom zum Schmelzen der Beschickung verwenden, während die Reduktion oder Raffination mit Hilfe eines durch Elektroden zugeführten Stromes stattfindet. Er verwendet also zweierlei Ströme und ist sein Ofen kein reiner Induktionsofen, sondern ein kombinierter Induktions-Elektrodenofen, das heißt eine Verbindung zweier bekannter Ausführungen.

Eine an die Ginsche Konstruktion anschließende Idee ist die Bronns[2]), welcher die Schmelzrinne in mehrere Abschnitte teilt und hintereinander in den Stromkreis einschaltet.

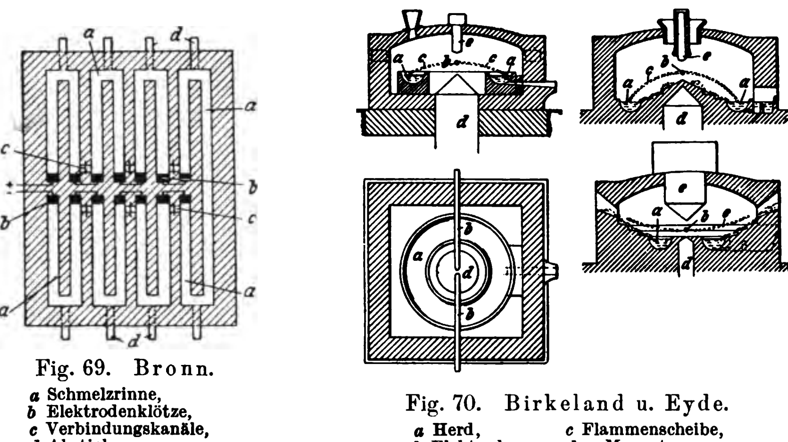


Fig. 69. Bronn.
a Schmelzrinne,
b Elektrodenklötze,
c Verbindungskanäle,
d Abstiche.

Fig. 70. Birkeland u. Eyde.
a Herd, c Flammenscheibe,
b Elektroden, d, e Magnete.

Ein ganz eigenartiger Gedanke stammt von Birkeland und Eyde, deren Strahlungsöfen einen Lichtbogen scheibenartiger[3]) oder kugel-kalottenartiger Gestalt dadurch erhalten, daß der zwischen zwei horizontalen Kohlenelektroden überspringende Lichtbogen durch zwei einander gegenüberstehende Magnetpole mit vertikaler Achse verbreitert und abgelenkt wird. Ein Pol wird durch den Herd, der andere durch die Decke des Ofens gesteckt. Der Herd ist ringförmig um die Achse der Magnete angeordnet und, um eine bessere Anpassung an die Lichtbogengestalt zu erreichen, mit ringförmigen Stufen versehen.

[1]) Amerikanisches Patent Nr. 833 357.
[2]) D. R. P. Nr. 195 817 von 1906.
[3]) D. R. P. Nr. 192 343 von 1906.

Bemerkenswert ist die Art der Stromführung Schnelles[1]). Dieser will den elektrischen Strom durch den freifallenden Strahl des geschmolzenen Metalls hindurchschicken und den verhältnismäßig kleinen Querschnitt desselben zur Erhöhung des Heizwiderstandes benutzen.

Helbergers Kühlvorrichtung für Eisenkerne und Wicklungen des elektrischen Induktionsofens bietet für die Prinzipien der Ofenkonstruktionen wenig Neues.

Der elektrische Ofen von Ischewsky[2]) ist eine um eine horizontale Achse rotierende Trommel aus Leitern zweiter Klasse, welche bei höherer Temperatur stromleitend werden (Magnesia, Kalk, Kieselsäure, Tonerdesilikate usw.). Am Umfang der Trommel werden Elektroden

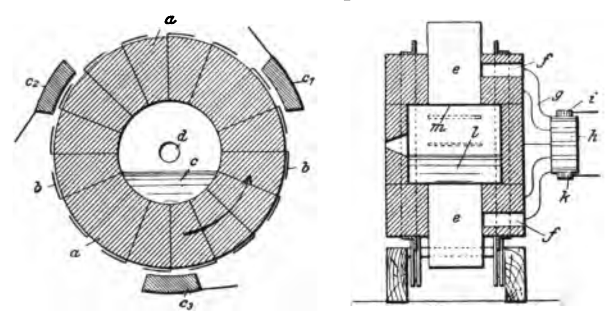



Fig. 71 und 72. Ischewsky.

*a* feuerfeste Steine,
*b* dazwischensteckende Elektroden,
*c* geschmolzenes Metallbad,
*c*₁, *c*₂, *c*₃ Bürsten,
*d* Eintragöffnung,
*e* Elektroden,
*f*, *g* Verbindungen mit dem Kommutator *h*,
*i*, *k* Bürsten.

angebracht, an welchen die Bürsten der Drehstromzuführung schleifen. Es bilden sich sogenannte Jablochkoffsche Kerzen, wobei die innere Ofenwand erhitzt wird und ihre Wärme auf das Schmelzgut überträgt. An der technischen Hochschule in Kiew wurden Versuche im kleinen durchgeführt und wurde aus Roheisen und Schrot Stahl erzeugt. Nach Angabe des Erfinders sollte ein größerer Ofen in der Briansky-Hütte in Ekaterinoslaw aufgestellt werden. In Stahl und Eisen[3]) ist ein Elektrostahlofen von Schneider & Co. in Creusot besprochen, welcher eine schaukelnde Bewegung ausführt, ähnlich wie dies die Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen vorgeschlagen hat[4]). Der Ofen besteht jedoch aus zwei Schmelzräumen, welche durch Kanäle miteinander verbunden sind. Von diesem Induktionsofen wird berichtet, daß in demselben zur Erzeugung von 1 t Stahl 800—900 KWst.

---

[1]) D. R. P. Nr. 197 524 von 1906.

[2]) D. R. P. Nr. 187 089 von 1906, Amerik. Patent Nr. 847 003 von 1907. Siehe auch Stahl und Eisen 1908, S. 726, Revue de la Métallurgie 1908, S. 38.

[3]) Stahl und Eisen 1908, S. 1479 und Engineering 1908, S. 776.

[4]) Siehe S. 46 u. 49.

bei einer Charge von 1 t benötigt wurden. Der Betrieb erfolgte durch Wechselstrom von 220 Volt Spannung und 42 Perioden.

Im Jahre 1909 wurde der Gesellschaft Grönwall, Lindblad und Stalhane[1]) ein Patent auf ein Verfahren und eine Vorrichtung erteilt, um Phosphor und andere Verunreinigungen aus Stahl und Eisen im elektrischen Kontaktofen zu entfernen. Es wird das Metallbad durch eine Brücke derart zu einer U-förmigen Rinne geteilt und umgeformt, daß die Schlacke bei horizontaler Lage über die Brücke reicht. Durch Neigen des Herdes ist es sodann möglich, den Widerstand in Schlacke und Metall so zu regeln, daß, je nachdem Schlacke oder Bad die größere Hitze benötigen, diese oder jenes mehr Strom erhält und daher auch mehr Elektrizität in Wärme umzusetzen in der Lage ist.

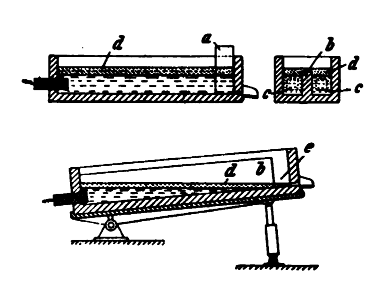



Fig. 73. Grünwall, Lindblad und Stalhane.

*a* Herausnehmbarer Einsatzteil aus nicht leitender Masse,
*b* Zwischenwand,
*c* Doppelrinne,
*d*, *e* Schlackenschicht.

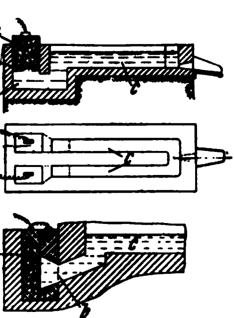



Fig. 74. Grönwall, Lindblad u. Stalhane.

*a* Kontaktblock,
*b* Wanne,
*c* Rinne,
*d* Schicht aus indifferentem Material, z. B. Schlacke.

Eine andere Idee derselben Unternehmung geht dahin[2]), eine Schmelzrinne mit einer außerhalb des eigentlichen Schmelzraumes gelegenen Fortsetzung zwecks Unterbringung der Kontaktblöcke zu versehen. Diese werden so angeordnet, daß beim Ablassen des erschmolzenen Materiales keine Entblößung der Kontaktflächen vom Schmelzgute stattfindet (Ergänzung der Ginschen Öfen). Ein In-

---

[1]) D. R. P. 198 952 von 1907.

[2]) D. R. P. 203 028 von 1907. Die Erfindungen von Grönwall, Lindblad und Stalhane dürften hauptsächlich zur Anwendung auf die Roheisenerzeugung gedacht gewesen sein. Die drei Ingenieure waren mit den Versuchen in Ludvika betraut und versuchten sich in verschiedenen Konstruktionen. Sie wollten den Schmelzherd des Schachtofens entweder durch Elektrodenstrom oder auch durch Induktion heizen.

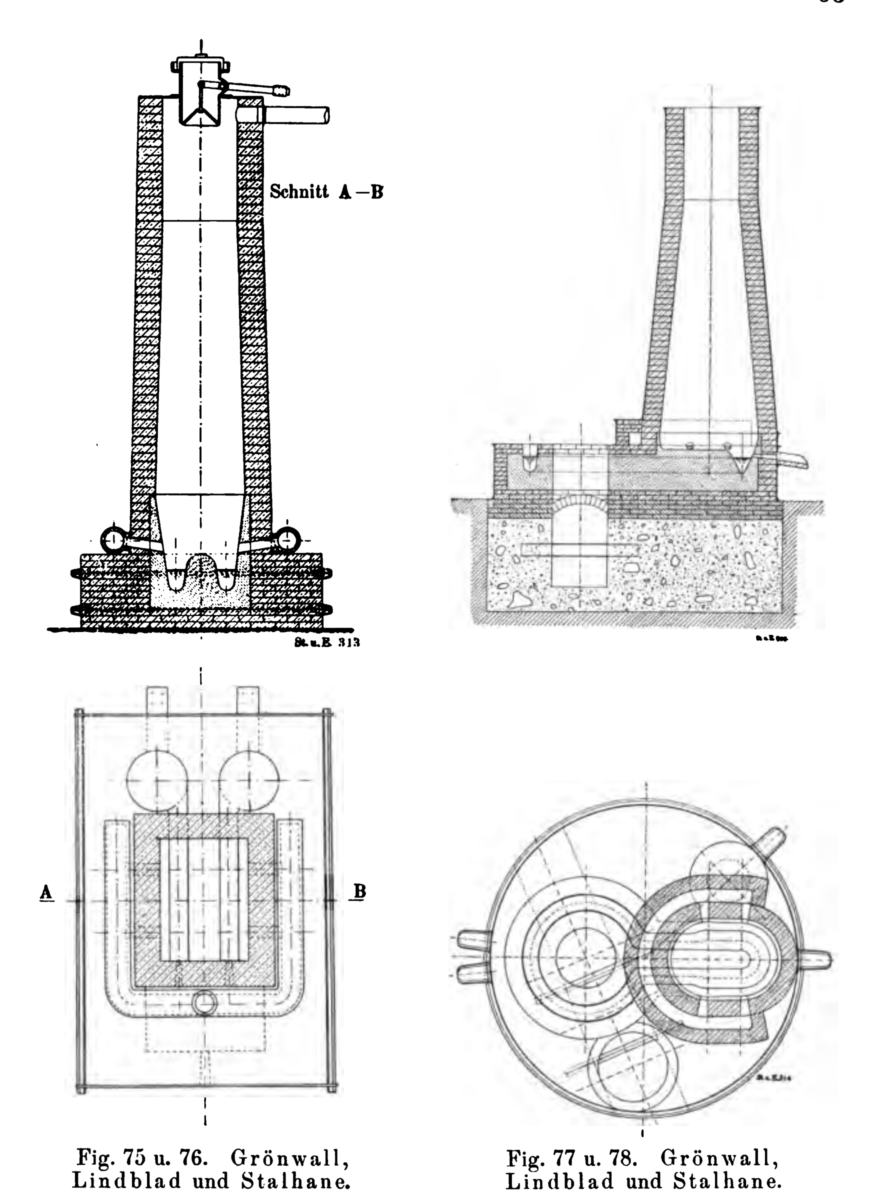



Fig. 75 u. 76. Grönwall, Lindblad und Stalhane.

Fig. 77 u. 78. Grönwall, Lindblad und Stalhane.

duktionsschachtofen der schwedischen Ingenieure hatte die Einrichtung nach Fig. 77 u. 78.

Um die Aufnahme des Stoffes, aus welchem die Elektroden bestehen, in das Metallbad zu verhindern, schlägt Bronn[1]) vor, dieselben über

[1]) D. R. P. 199 587 von 1906.

einen Trichter zu geben, welcher mit Eisenabfällen gefüllt wird. Es geht sodann der Strom von der Elektrode über die Eisenabfälle zum Schmelzgute.

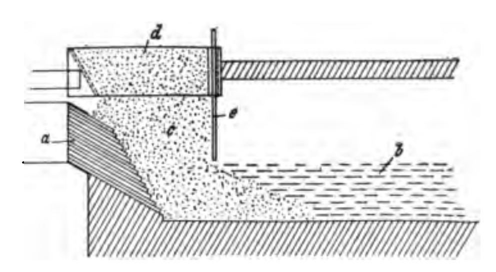



Fig. 79. Bronn.
a Elektrode, b flüssiges Bad, c kalte Eisenabfälle, d Trichter, e Schieber.

Die Bismarck-Hütte[1]) sucht eine vollkommenere Reinigung dadurch zu erhalten, daß sie zuerst im basischen und dann im sauren Elektrodenofen raffiniert.

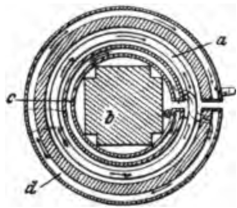



Fig. 80. Kjellin.
a Primärwicklung,
b Eisenkern,
c, d Kühlkammern,
e leitende Stege zwischen Kühlkammern und Windungen.

Titanhaltige Erze sollen nach Sinding-Larsen und Willumsen[2]) unter Bildung einer Titaneisenlegierung im elektrischen Ofen reduziert und nachher im Konverter aufeinanderfolgend mit Stickstoff und mit Wasserdampf weiterbehandelt werden.

Die Gesellschaft für Elektrostahlanlagen in Berlin-Nonnendamm wollte das in Stahl zu verwandelnde Roheisen in einem Mischer mit elektrischer Heizung vorfrischen[3]).

Kjellin[4]) führte eine wirksame Kühlung des Induktionsofens dadurch ein, daß er die primären Wicklungen zwecks Wasserdurchflusses hohl machte und zwischen zwei zylindrische Kupferkammern legte, durch welche ebenfalls Kühlwasser durchging. Dabei sollten auch die Streuungsverluste herabgemindert werden.

Zur Verhinderung der letzteren hat Kjellin auch Leiter (Kupferblech) um den Kern des Magneten und die Schmelzrinne gegeben[5]),

[1]) Französisches Patent 386 785.
[2]) D. R. P. 220 544 von 1907.
[3]) Französisches Patent 385 072.
[4]) D. R. P. 201 635 von 1906; siehe auch Helbergers Kühlvorrichtung.
[5]) D. R. P. 217 243 von 1906. Siehe auch S. 46.

welche der Länge nach, also in vertikaler Richtung aufgeschnitten waren. Das Aufschneiden geschah zu dem Zwecke, damit sich hier kein durch das Hauptfeld induzierter Stromkreis bilde.

Auch Röchling und Rodenhauser haben für ihren Induktionsofen[1]), der weiter unten besprochen werden soll, eine Vorrichtung geschaffen, um die durch Kraftlinienstreuung erhaltenen Energieverluste herabzudrücken. Sie führten dem Schmelzherde Sekundärstrom durch in den Ofenwänden befindliche Elektroden zu, welcher in einer eigenen um die Primärwicklung gelegten sekundären Drahtwicklung erzeugt wird.

Diese Elektroden sollten nach einem eigenen Verfahren von Röchling, Schönawa und Rodenhauser hergestellt werden[2]). Sie bekamen plattenförmige Gestalt und wurden mit ihrer als Metallplatte ausgebildeten Stromzuführung in das Herdmaterial eingestampft. Dabei wurde diese Wandelektrode samt Metallplatte durch eine isolierende Schichte an der Rückfläche und den Seiten vor unnötiger Stromableitung und Wärme geschützt.

Um im Martinofen auch Gußstahl erzeugen zu können, wollte Dr. Conrad[3]) an den Martinprozeß eine elektrische Raffination in der Weise anschließen, daß er den elektrischen Strom mit Hilfe von durch die Decke dieses Ofens einzuführenden Kohlenelektroden durch das Schmelzgut leitete. Die Elektroden sollten während des Martinisierens gehoben und sodann zwecks elektrischer Raffination gesenkt werden.

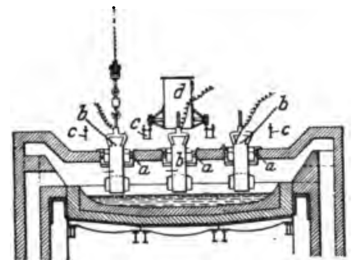



Fig. 81. Conrad.
a wassergekühlter Bronzerahmen,
b Elektroden,
c Träger für den fahrbaren Elektroden-Schutzbehälter d.

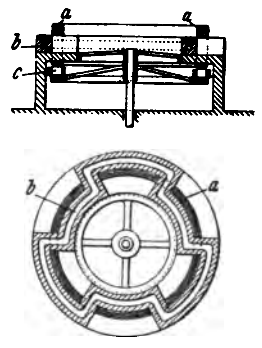



Fig. 82. Almänna Svenska Elektriska Aktiebolaget.
a Eisenkern,
b Schmelzraum,
c rotierender Magnet.

Die Almänna Svenska Elektriska Aktiebolaget in Westeras[4]) in Schweden wollte einen veränderlichen magnetischen

[1]) D. R. P. 199 354 von 1906.
[2]) D. R. P. 220 273 von 1906.
[3]) Österreichisches Patent 34 166.
[4]) D. R. P. 200 304 von 1906.

Kraftfluß dadurch erzeugen, daß sie einem Induktionsofen mit ringförmiger Schmelzrinne einen rotierenden Magnet gab.

Eine Verbesserung des Kjellinschen Ofens wollte Hiorth[1]) erreichen, indem er die Schmelzrinne spiralförmig gestaltete. Er wünschte eine größere Länge und einen kleineren Querschnitt der Rinne und damit einen größeren Widerstand des Metallbades zu bekommen.

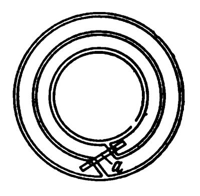



Fig. 83. Hiorth.
a Kontaktbrücke.

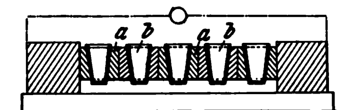
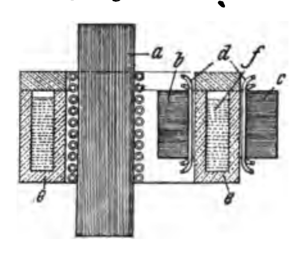



Fig. 84. Bölling.
a massige Kohlenklötze,
b Tiegel.



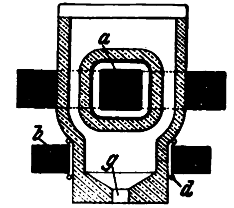




Fig. 85. De Ferranti.
a Querglieder des Hauptmagneten,
b, c 2. Magnet,
d Wicklung desselben,
e Rinne,
f Metallmasse,
g Ablaßöffnung.

Andere Lichtbogenöfen, welche von den bisherigen Konstruktionen wenig abweichen, wurden von Lindblad[2]) und von Pourcel[3]) konstruiert. Sie hatten Oberflächenelektroden und eine Bodenelektrode. Die letztere war vom leitenden Herdmaterial überdeckt.

Bölling[4]) setzt Tiegel oder Muffeln in eine Masse aus Kohle oder ähnlichen Widerständen ein, um letztere vom elektrischen Strom durchfließen und erhitzen zu lassen, wodurch sodann die Wärme auf die Schmelzgefäße übergeht.

Ziani de Ferranti[5]), welcher seinerzeit als erster die Induktion für die Eisengewinnung nutzbar machen wollte, beschäftigte sich auch weiter mit den Induktionsöfen. Er patentierte ein Verfahren, um bei denselben mittels eines magnetischen Hilfsfeldes eine Zirkulation im Schmelzbade hervorzurufen. Er stellte neben einem Transformator mit mittlerem Quergliede noch einen Ringmagneten auf, welcher über eine seitliche Fortsetzung des metallischen Bades gegeben wurde. So wurde unter Mitwirkung des Hauptmagneten ein Drehfeld erzeugt, welches das flüssige Eisen nötigen sollte, eine zwangsläufige Umlaufbewegung im Herdringe zwecks intensiver Durchmischung zu machen.

[1]) D. R. P. 204 485 von 1907.
[2]) Stahl und Eisen 1909, S. 983; nach Bih. Jernk. Ann. 1909, S. 409 ff.
[3]) Révue Mét. 1909, S. 185.
[4]) D. R. P. 205 115 von 1907.
[5]) D. R. P. 205 979 von 1907.

Nathusius baute 1908 einen Versuchsofen[1]) von 1 t Inhalt in Friedenshütte in Oberschlesien, welcher mit Erfolg betrieben wurde, so daß 1909 ein großer Ofen für Stahlerzeugung von den westdeutschen Thomasphosphatwerken errichtet werden konnte. Sein Ofen ist ein Lichtbogenwiderstandsofen, bei welchem zahlreiche Kohlenelektroden oberhalb des Bades und zahlreiche wassergekühlte Stahlelektroden unterhalb des Bades, im Herde eingebettet, verwendet werden. Dieselben werden insbesondere am Umfange verteilt. Sie sind mit der Elektrizitätsquelle so verbunden, daß benachbarte Elektroden entgegengesetzte Polarität haben. Der Stromverlauf des Bades findet hauptsächlich am Umfange des Herdes statt. Die Elektroden können dabei statt aus einem einheitlichen Kohlenblocke auch aus zwei, durch eine isolierende Schicht getrennten, nebeneinanderliegenden Teilen bestehen. Der Ofen sollte den Vorteil haben, das Bad sowoh' an der Oberfläche durch Lichtbogenhitze als auch im Bade durch Widerstandserhitzung zu beheizen. Die Hauptwärme soll je nach Bedarf sowohl in der Schlackenschicht als auch im Stahlbade konzentriert werden können.

Hartenstein versuchte sich mit einer Vorrichtung zum Zwecke der Abfuhr reduzierender Gase aus dem elektrischen Ofen, damit die Kohlenelektroden nicht durch Verbrennen der Gase angefressen werden[2]).

Die Gesellschaft für Elektrostahlanlagen in Berlin-Nonnendamm patentierte ein Verfahren zum Zwecke der Verwendung von Drehstrom bei Induktionsöfen, derart, daß derselbe in Zweiphasenstrom zerlegt wird[3]), die Westdeutschen Thomasphosphatwerke dagegen ein solches zur Herstellung einer Fassung für nicht metallische Elektroden, bestehend aus einer Kupferkappe mit eingeschmolzenem Aluminium[4]) und auf der Kappe aufgeschrumpftem Eisenring.

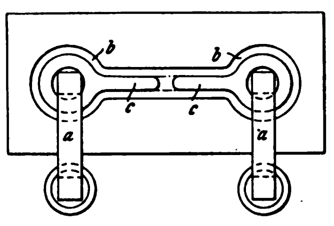


Fig. 86. Grönwall, Lindblad und Stalhane.
a Eisenkern,
b Schmelzrinne,
c Rinnenausstülpungen.

Grönwall, Lindblad und Stalhane wollen die elektromagnetische Streuung und die damit verbundenen großen Phasenverschiebungen mildern, indem sie in das Streufeld elektrische Spulen derart einsetzen, daß sie den Streuungslinien entgegenwirken[5]). Eine andere Idee der

---

[1]) Englisches Patent 7188 von 1908. Siehe auch S. 94.
[2]) D. R. P. 206 419 von 1907.
[3]) D. R. P. 206 575 von 1907.
[4]) D. R. P. 207 361 von 1908.
[5]) D. R. P. 205 344 von 1906.

selben Ingenieure geht dahin[1]), die Ofenrinne zwecks Vermeidung der großen Phasenverschiebung und Streuung aus einem den Eisenkern fast vollständig und möglichst eng umschließenden Kanal und aus einer ösenförmigen Ausstülpung zusammenzusetzen. Mehrere solcher Öfen werden derart angeordnet, daß diese Ausstülpungen sich zu einem gemeinsamen Sammelraume vereinigen.

Nach Bergsmann wurde von der A. G. Elektrometall in Ludvika auch ein Kontaktofen konstruiert, welcher jenem der drei schwedischen Ingenieure ähnlich ist, jedoch einen Vorherd besitzt, in welchen die Rinne übergeht und von welchem aus das gesammelte Schmelzgut abgelassen wird. Die Gichtgase werden bei diesem mit einem Schachte verbundenen Ofen, welcher zur Roheisenerzeugung dient, im wärmsten Teile wieder zugeführt.

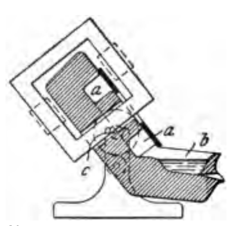


Fig. 87. Biewend.
*a* Schmelzrinne,
*b* Vorherd,
*c* Drehachse.

Biewends kippbarer elektrometallurgischer Induktionsofen[2]) zur Stahlbereitung besitzt einen Vorherd, welcher mit der Schmelzrinne ein Ganzes bildet. Herd samt Elektromagnet und Vorherd sind um eine horizontale Achse kippbar, derart daß das geschmolzene Material aus der Herdrinne in den Vorherd abgelassen wird und von

---

[1]) D. R. P. 210 984 von 1906.

Die drei schwedischen Elektrometallurgen fanden, daß sich die Leistung der Öfen bei großer Phasenverschiebung nicht genügend steigern lasse.

Lindblad stellte die Formel auf:

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{c \cdot \infty \cdot a}{l \cdot \rho} \cdot \left(\frac{1}{W_s} + \frac{1}{W_p}\right).$$

Dabei bedeutet
$\varphi$ den Winkel der Phasenverschiebung,
c eine Konstante,
$\infty$ die Frequenz des Stromes, das ist die Zahl der Perioden in einer Sekunde,
a die Fläche des Schmelzbades,
l die Länge des Metallbades,
$\rho$ den spezifischen Widerstand in Ohm,
$W_s$ u. $W_p$ den magnetischen Widerstand um die sekundäre und primäre Spule.

Der Leistungsfaktor cos $\varphi$ läßt sich vergrößern, wenn tg $\varphi$ kleiner wird, da sich tg und cos in entgegengesetzter Richtung verändern.

Es muß daher, um eine größere Leistung bei gleicher Stromart, also gleicher Frequenz des elektrischen Stromes zu erhalten, der Badwiderstand oder der magnetische Widerstand der beiden Streuungsfelder zunehmen. Dies soll durch die mehrfachen Vorschläge der Ingenieure Grönwall, Lindblad und Stalhane erreicht werden.

Siehe Neumann, Die Erzeugung von Roheisen im elektrischen Ofen. Stahl und Eisen 1907, S. 1262.

[2]) D. R. P. 207 312 von 1906.

diesem erst in die Gußpfanne gelangen kann. Das Schmelzen soll hier in der Rinne, das Raffinieren im Vorherd stattfinden.

Eine Aufhängevorrichtung für Elektroden an drehbaren Armen, zwecks leichter Auswechslung derselben während des Betriebes, führt Keller ein[1]).

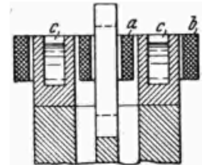



Fig. 88. Felten und Guilleaume.
*a*, *b* Primärspulen, *c* Schmelzrinne.

Die Felten u. Guilleaume-Lahmeyer-Werke in Frankfurt a. M. wollen dadurch günstige Verhältnisse für die Erhitzung der Spule und die Streuung der Kraftlinien erhalten, daß sie die primären Wicklungen sowohl an der Innen- als auch an der Außenseite des ringförmigen Induktionsherdes anordnen.

Trillon und Giffre[2]) wollen einen elektrischen Ofen mit zwei beweglichen Kohlenelektroden verschiedener Polarität über dem Bade und einer dritten in der Ofensohle eingebetteten Elektrode herstellen, die mit dem Mittelleiter eines Dreileitersystems verbunden ist. Zwischen den beiden oberen Elektroden ist eine Scheidewand, welche nicht in das Bad hineinreicht. Die Bodenelektrode ist hier eine Reserve für den Fall, als der Strom zwischen den beiden oberen Elektroden unterbrochen wird; er geht dann durch die Bodenelektrode zurück. Dadurch ist es möglich, ohne Betriebsunterbrechung eine der beiden oberen Elektroden auszuwechseln. Der Strom wird hier durch zwei hintereinander geschaltete Generatoren erzeugt, und der Mittelleiter schließt an die Verbindung der beiden an. Man kann ihn auch mit Absicht von einer oder den beiden oberen Elektroden zur Bodenelektrode führen, so daß zwei Schmelzstellen entstehen.

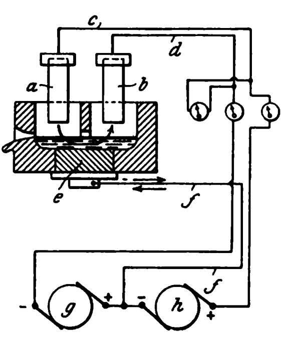



Fig. 89. Trillon und Giffre.
*a*, *b* Kohlenelektroden, *c*, *d* Außenleiter, *e* Bodenelektrode, *f* Leitungsdrähte des Dreileitersystems, *g*, *h* Generatoren.

Chaplet und La Néo-Métallurgie[3]) formten einen einfachen Lichtbogen derart, daß nur eine Elektrode einen Lichtbogen bildet. Unter ihr befindet sich ein großer Schmelzraum, von welchem ein Kanal zur zweiten stets in das Bad eintauchenden Elektrode führt. Der Kanal ist unterhalb des Stichloches angeordnet, so daß er stets gefüllt bleibt und der elektrische Strom beim Abstich nicht unter-

---

[1]) D. R. P. 208 967 von 1908.
[2]) D. R. P. 213 497 von 1907.
[3]) D. R. P. 216 720 von 1907. Siehe auch Stahl und Eisen 1909, S. 1127.

brochen wird. Es soll also keine Betriebsunterbrechung stattfinden. Ein Ofen dieser Art wurde 1906 von der Société des forges d'Allevard mit Erfolg in Betrieb gesetzt.

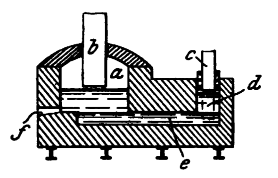



Fig. 90.
Chaplet und La Néo-Métallurgie.

*a* Hauptofenraum,
*b*, *c* Elektroden,
*d* äußerer Ofenraum,
*e* Verbindungskanal,
*f* Abstichloch.

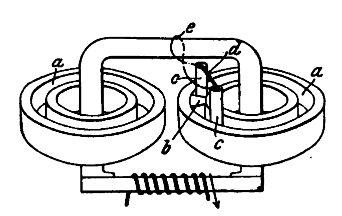



Fig. 91. Hiorth.

*a* Schmelzrinne,
*b* Scheidewand,
*c* Leiter,
*d* Leitung,
*e* Wicklung.

Um die Schlacke in Induktionsöfen auf höhere Temperaturen zu bringen, will Hiorth[1]) die Schmelzrinne durch Brücken unterbrechen und an den Enden der Rinnenteile Leiterstücke in die Schlacke eintauchen, die miteinander durch Drähte verbunden sind.

Damit eine getrennte Beheizung von Bad und Schlacke erhalten werde, versehen die Rombacher Hüttenwerke in Rombach einen Rinnenofen mit Oberflächenelektroden, so daß das Schmelzgut durch Widerstandserhitzung, die Schlacke durch Lichtbogenhitze ihre Wärmezufuhr erhält.

Die vorstehend angeführten Erfindungen bringen uns zum größten Teile nur Verbesserungen bereits bekannter Ofenkonstruktionen und Verbindungen derselben und kamen vielfach gar nicht zur Ausführung. Andere Erscheinungen beziehen sich auf Erzielung größerer Ökonomie, Verhinderung der Kraftlinienstreuung und ähnliches. Kjellin und die Poldi-Hütte befaßten sich insbesondere auch mit Vorkehrungen, um eine bessere Haltbarkeit der Ofenherde zu erzielen. Die wichtigste Neuerscheinung dieser Zeitperiode dürfte aber zweifellos der Röchling-Rodenhausersche Ofen sein[2]), welcher schon erwähnt, aber nicht beschrieben wurde. Dieser Ofen hat ein einfaches Magnetjoch, bei welchem beide Schenkel mit Wicklungen versehen und von je einer Schmelzrinne umgeben sind. Die Rinnen vereinigen sich zwischen den beiden Schenkeln zu einem geräumigen Herd, welcher als Arbeitsraum dient. Zwecks Verringerung der Streuung und gleichzeitiger Heizung des Herdes wird diesem durch in die Herdwandung eingebaute Polplatten ein Hilfsstrom zugeführt, welcher in einer neben der Primär-

---

[1]) D. R. P. 216 734 von 1907.
[2]) D. R. P. 199 354 von 1906.

wicklung des Transformators befindlichen sekundären Wicklung erzeugt wird[1]). Ein kleiner Ofen dieser Art wurde im Jahre 1906 in den Röchlingschen Eisen- und Stahlwerken in Völklingen a. d. Saar gebaut und auf seine Verwendbarkeit geprüft.

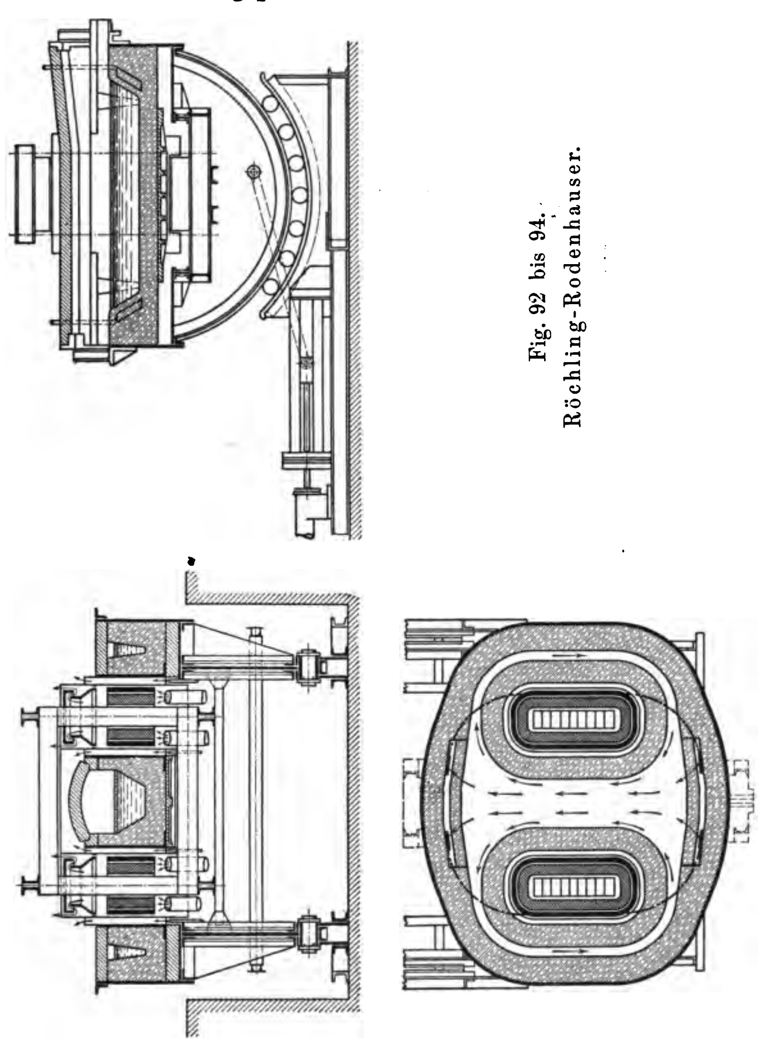


Fig. 92 bis 94.
Röchling-Rodenhauser.

Bei einem hierauf bestellten Ofen des Eicher Hüttenvereines für eine halbe Tonne Einsatz wurden bereits Arbeitstüren an der Herdwandung angebracht, so daß das beim ersten Versuchsofen und beim Kjellin-Ofen übliche Abheben der Decke bei der Beschickung nicht

[1]) Siehe auch S. 55.

mehr nötig war. Ein 3-t-Ofen wurde 1907 in Völklingen in Betrieb genommen und bewährte sich ebenfalls.

Die Induktionsöfen waren aber bisher für 3-Phasenstrom nicht verwendbar, benötigten rotierende Umformer und mußten mit sehr niederen Periodenzahlen betrieben werden. Bei 3 t Einsatz mußte man mit 25 Perioden oder weniger arbeiten; beim Kjellin-Ofen mußte man sogar auf 15 Perioden heruntergehen. Man richtete daher ein weiteres Augenmerk auf eine Umbildung in der Art, daß auch Drehstrom beliebiger Periodenzahl und Spannung verwendet werden könne. Dadurch wird eine Transformation des Stromes außerhalb des Ofens unnötig und können durch diese entstehende Energieverluste vermieden werden.

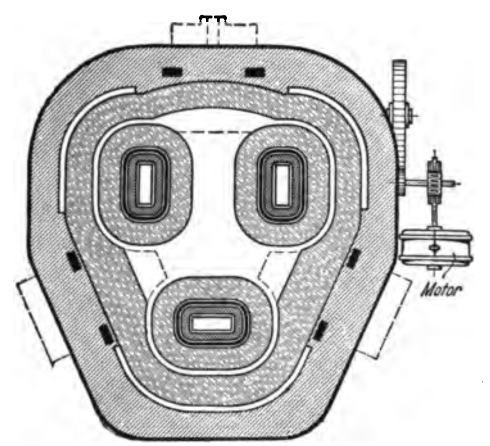


Fig. 95. Grundriß eines Drehstromofens nach Röchling-Rodenhauser.

Dies führte zur Konstruktion des im Jahre 1908 gebauten und in Betrieb gesetzten Röchling-Rodenhauserschen Drehstromofens, welcher durch mehrere Patente geschützt ist. Bei ihm kam nunmehr ein Transformator mit 3 von Heizrinnen umgebenen Schenkeln in Verwendung. Das Magneteisen erhielt also die Gestalt eines doppelten Joches. Die Schmelzrinnen vereinigen sich wieder zwischen den drei Schenkeln zu einem gemeinsamen Herd. Die Rinnen sind nur als Heizraum gedacht, der Herd als alleiniger Arbeitsraum, in welchem die Raffination vor sich geht. Die Rinnen sind kürzer, der Herd dagegen ist geräumiger als beim Zwei-Rinnen-Ofen. Er ist auch leicht zugänglich und gestattet eine vorteilhafte Beobachtung und Behandlung der Badoberfläche. Die Induktionsöfen dieser Zeit wurden zumeist als Kippöfen ausgeführt, um große Mengen Schlacke leichter entfernen zu können und um von der Unzuverläßlichkeit der Abstichlöcher befreit zu sein. Ein Ofen wurde in Völklingen und einer bei der Gesellschaft für Elektrostahl-Anlagen in Berlin-Nonnendamm, aufgestellt.

Röchling[1]) und Neumann[2]) teilen über die Erfolge der Induktionsöfen mit, daß die Entfernung von Schwefel und Phosphor,

[1]) Über die Fortschritte der Elektrostahldarstellung, Vortrag, gehalten auf der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf im Jahre 1906. Stahl und Eisen 1907, S. 81. Siehe auch Engelhardt, Elek-

ebenso die vollständige Desoxydation sehr leicht gelingt, dagegen Kohlenstoff, Mangan und Silizium schwerer zu entfernen sind. Es sei entgegen den Behauptungen der Freunde von Elektrodenöfen beim Induktionsofen möglich, Flußeisen auf jede gewünschte Temperatur zu bringen, und zwar bei geringem Stromverbrauch. Der Strom nehme wohl seinen Weg durch den geringen Widerstand, nämlich durch das Metallbad, aber der dadurch erwachsende Nachteil, daß die Schlacke nicht so heiß



Fig. 96. Röchling und Rodenhauser. 1,5-t-Drehstromofen.

wird wie bei den Elektrodenöfen, sei durch besondere Erfindungen parallisiert worden. Es sei tatsächlich nie nötig gewesen, Flußspat oder ähnliches als Flußmittel zuzusetzen, um der Schlacke die nötige

trische Induktionsöfen in der Eisen- und Stahlindustrie, Elektrotechnische Zeitschrift 1907, S. 1051 ff.

[2]) „Röchling-Rodenhausers neuer Drehstromofen und weitere Fortschritte in der Elektrostahlerzeugung“, Stahl und Eisen 1908, S. 1161 ff.

Flüssigkeit zu verleihen, während bei den Elektrodenöfen regelmäßig mit Flußspat gearbeitet wird. Im Gegenteil beweise die Arbeitsweise in Völklingen, daß die zur Entphosphorung und Entschwefelung nötige Schlacke vollkommen dünnflüssig sei. Die Durchmischung des Bades ist eine sehr gute, da zwischen den 3 Schenkeln des Transformators ein Drehfeld entsteht, welches das Bad in ständige Zirkulation versetzt. Der Kraftverbrauch wurde mit 600 KWst. pro 1 t Stahl bei flüssigem Einsatz angegeben. Unter Umständen hat zur Raffination allein ein elektrischer Energieverbrauch von 150—200 KWst. genügt.

Wenn dagegen Stahl aus kaltem Schrot erhalten werden soll, sind 900 KWst. für 1 t fertigen Produktes nötig. Die Kosten werden von Neumann mit ca. 130 M. veranschlagt. Dabei sind 4,5 Pf. Strompreis pro 1 KWst. angenommen. Das Einschmelzen des kalten Materiales auf elektrischem Wege kam zu teuer. Es wurden aus dem Stahl der Induktionsöfen auch Eisenbahnschienen erzeugt, welche sich bestens bewährt haben. Sie sind zwar etwas teurer als Martinstahlschienen, dafür aber hochwertiger; denn der Raffinationsprozeß im Elektroofen ist wirksamer als jener in Öfen, welche ohne elektrischen Strom arbeiten und wird daher insbesondere die Schlagprobe beim Elektrostahl bessere Ergebnisse liefern als bei Martin-, Konverter- und Tiegelstahl.

Was die übrigen gebräuchlichen Verfahren der Elektrostahlgewinnung anbelangt, so wird in diesem Zeitabschnitt hierüber in der Literatur vielfach berichtet.

Bei Stassanos Verfahren soll nach einem Berichte Saconeys[1]), welcher fünf Chargen in Turin beobachtet hatte, eine Reinigung des Roheisenmaterials nicht erfolgen und auch die Erzeugung von Stahl von bestimmter chemischer Zusammensetzung nicht gelingen. Dies schon aus dem Umstande, weil das Schmelzgut nicht heiß genug wird, was Saconey auf die indirekte Lichtbogenerhitzung zurückführt.

Osann findet jedoch den Stassano-Ofen[2]) besonders dazu geeignet, größere Stücke von Stahlformguß herzustellen, wie ihn der Erfinder selbst in Turin erzeugte. Es wurde daher auch ein Stassanoscher Drehofen bei der Bonner Maschinenfabrik und Eisengießerei Mönkemöller & Co. zu diesem Zweck erbaut, welcher mit Schrot, ev. unter Zusatz von bestem schwedischen Roheisen beschickt wird. Der Stromverbrauch beträgt 900 KWst. für 1 t Stahl. Einschließlich des Wertes des Roheisenmateriales kommt 1 t Stahlformguß auf 184 M. Es erwies sich nach Osann, daß die Betriebspausen beim Stassano-Ofen nicht genieren, während sie beim Konverter große Schwierigkeiten machen. Osann betrachtet es auch als einen besonderen Vorteil

---

[1]) Bulletin de la Société de l'industrie minérale 1907, S. 441.

[2]) Stahl und Eisen 1908, S. 654.

des Ofens für den angegebenen Zweck, daß die Transformation des Stromes hier abseits vom Ofen vor sich geht, wodurch die Gefahr des Arbeitens mit hochgespanntem Strom vermieden wird. Demgegenüber haben allerdings Röchling und Engelhardt darauf hingewiesen, daß man auch bei Induktionsöfen trotz der hohen Spannungen in der Primärspule gefahrlos arbeiten könne, da genügend Schutz vorgesehen sei. Übrigens sei es auch gut denkbar, die Induktionsöfen im Bedarfsfalle mit niedergespanntem Strom zu betreiben (statt 3000 V nur etwa 450 V)[1]). Entgegen den Behauptungen anderer stellte die Bonner Fräser-Fabrik fest, daß Störungen durch Belastungsschwankungen im Stassano-Ofen nicht vorgekommen seien. Ermuntert durch die gute Nachricht aus Bonn stellte im Jahre 1909 auch die St. Pöltener Weicheisen- und Stahlgießerei Leopold Gasser einen Stassano-Ofen für das elektrische Umschmelzen und die Stahlformgußbereitung auf, welchem bald ein zweiter folgen sollte. Dabei wurde Drehstrom mit 25 Perioden verwendet[2]).

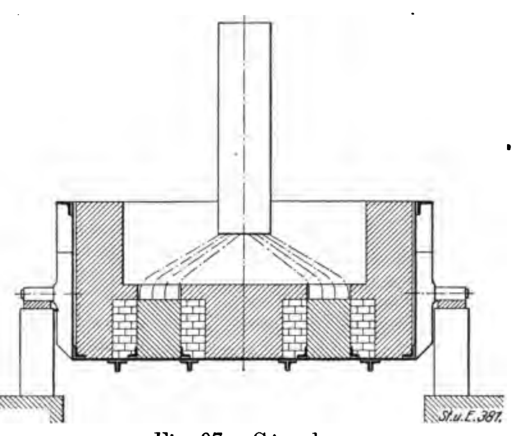


Fig. 97. Girod.

Der Girod-Ofen fand größere Verbreitung als jener von Stassano; er war im Jahre 1909 in Aarau in der Schweiz, in Ternitz und Judenburg in Österreich und zu Dyosgyör in Ungarn eingeführt worden. Auch in Seraing in Belgien und an mehreren Orten Deutschlands wurden Öfen dieses Systems aufgestellt. Diese Girod-Öfen hatten jedoch gegenüber den ursprünglichen Ideen des Erfinders eine wesentlich veränderte Gestaltung. Sie waren Herdöfen, in welche von oben eine vertikale Kohlenelektrode durch die Decke hineinragte, indes in den Herd und zwar am Rande des kreisförmigen Herdbodens, 8 Metallelektroden eingebettet waren. Die hervorragenden Enden dieser Stahlelektroden schmolzen bis zu einer gewissen Grenze ab. Dieser Umstand bildete keinen Nachteil, da der Ausgleich der äußeren und der im Ofen herrschenden Temperatur stets in gleicher Weise stattfand, daher der größere Teil des Stahlpoles nicht auf Schmelztemperatur gebracht

[1]) Stahl und Eisen 1908, S. 885.
[2]) Siehe Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1909, S. 731.

werden konnte. Der Strom ging von der Kohlenelektrode, einen strahlförmigen Lichtbogen bildend, zu den 8 Herdelektroden. Das Bad wird bei diesem Ofen gleichzeitig erhitzt, da eben eine gute Verteilung des Stromes stattfindet und auch eine kräftige Eigenbewegung des Bades erhalten wird. Wenn der Ofen mit kaltem Einsatz bei emporgezogener Oberflächenelektrode beschickt wird, wird die Kohle bei Inbetriebsetzung auf das Einsatzmaterial stoßen. Es bilden sich sofort Lichtbogen zwischen den einzelnen Stücken der Beschickung, das Material erhitzt sich und sinkt allmählich in sich zusammen, bis schließlich der ganze Einsatz geschmolzen ist und kein festes Stück am Herdboden übrig bleibt.

Nach Schroeder[1]) hat Hiorth versucht, den Herd mit mehreren Polen aus Graphit oder Stahl zu versehen. Im ersten Falle wurden die Pole mit einem metallischen Kopf bedeckt. Im zweiten Falle wurden oberhalb und neben den oberen Enden der Stahlelektroden Kanäle ausgespart, in welche im Ofen zu behandelndes Metall gegossen wurde. Dadurch sollte erreicht werden, daß die Stahlpole selbst durch das Schmelzgut nicht so sehr angegriffen werden. Diese Bodenelektroden wurden wieder in einem Kreise am Rande des Herdes angebracht, um die gleichmäßige Stromverteilung und eine gute Bewegung des Bades wie bei Girod zu erhalten.

Für 1 t aus Schrot erschmolzenen Stahl wurden nach Borchers in einem kleinen ½-t-Ofen 1000—1200 KWst., in einem großen 12½-t-Ofen 800—900 KWst. verbraucht. Der Elektrodenverbrauch betrug 12—15 kg für die Tonne fertigen Stahl. Die Seitenwände hielten ca. 80 Chargen ohne Reparatur aus, die Sohle 120—160 Chargen, die Decke jedoch nur 25—30 Chargen, wobei nur die Ergänzung der inneren Auskleidung in Betracht gezogen ist.

Nach Girod ist bei dem in den Coquerillschen Werken in Seraing stehenden 3-t-Ofen nur ein Energieverbrauch von 700 KWst. pro 1 t Stahl konstatiert worden[2]). Bei flüssigem Stahleinsatz würde der Bedarf noch niedriger sein und würden sich die Gesamtkosten der Erzeugung vermindern. Dies um so mehr, als der Ofen dauernd warm bleiben kann und dadurch auch der Elektrodenverbrauch sowie die Erhaltungskosten des Ofens verkleinert werden. Der dortige Ofen wurde zumeist zum Nachraffinieren von flüssigem Thomas-Einsatz verwendet.

Nach Saconey wäre der Girod-Ofen dem Héroult- und Stassano-Ofen vorzuziehen. Er benötigt nur die halbe Spannung, nur eine obere Elektrode —, was das Verfahren vereinfacht—, vermeidet

[1]) Französisches Patent Nr. 350 524 von 1905; siehe Stahl und Eisen 1909, S. 1303 und 1909, S. 1761.

[2]) The Iron Age 1909, S. 1490 und Stahl und Eisen 1909, S. 1242.

Kurzschluß und sei der Ofen an und für sich billiger als der von Héroult. Die Richtigkeit dieser Behauptungen wurde von Saconey nicht erwiesen.

Das Kellersche Verfahren der Gewinnung von Eisen aus den Erzen wurde dahin umgeändert, daß man auch den Raffinationsprozeß allein durchführte. Dabei wurde die bereits bekannte Kombination mit einem Kupolofen zum Schmelzen des Roheisens verwendet, um von hier aus, statt aus dem Schachtofen, das flüssige Rohmetall in den Raffinationsofen abzulassen[1]).

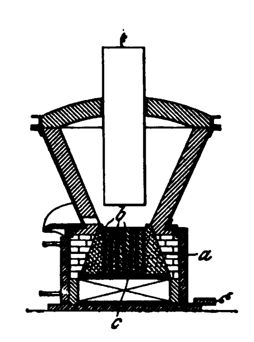



Fig. 98.
Ofen von Keller.
Herd mit gemischter Leitfähigkeit.
a Magnesia,
b Eisenstäbe,
c Stromzuleitungsplatte.

Im Jahre 1907 meldete Keller ein Patent[2]) für einen nicht kohlenden Schmelzherd aus Material gemischter Leitfähigkeit an. Der Herd sollte statt mehrerer Elektroden eine ganze Schar von vertikal stehenden Stahlstäben erhalten, welche um die eigene Dicke voneinander entfernt sind und auf einer Eisenplatte aufstehen. Zwischen diesen Eisenstäben wurde die der Hauptsache nach aus Magnesit bestehende feuerfeste Masse (Leiter zweiter Ordnung) eingestampft. Dadurch sollten Betriebsstörungen vermieden und eine gleichmäßige Stromverteilung im Bade erreicht werden. Diese Herde wurden bei den 3 Öfen in Livet in Anwendung gebracht. Keller versuchte seine Öfen auch für Drehstrom derart einzurichten, daß dieselben sowohl mit Dreiecks- als auch mit Sternschaltung arbeiten konnten. Er hatte

---

[1]) Siehe auch S. 19.

[2]) Französisches Patent Nr. 393 740 und D. R. P. Nr. 219 575 von 1907.

Die Herde können in solche mit einfacher und solche mit gemischter Leitfähigkeit eingeteilt werden. Beide Arten können kohlend oder nicht kohlend gemacht werden.

Herde einfacher Leitfähigkeit können sein:

a) Vollständig metallisch (Leiter erster Klasse). Diese sind bei der Eisenerzeugung praktisch nicht verwendbar.

b) Herde mit einem oder mehreren in ein feuerfestes und nicht leitendes Mauerwerk eingebetteten metallischen Polstücken.

c) Herde aus Leitern zweiter Klasse, d. h. aus Materialien, welche in der Hitze leitend werden, wie z. B. eine Stampfmasse aus Magnesit, Dolomit oder Kieselsäure und Kohle oder Teer.

Herde gemischter Leitfähigkeit bestehen aus Leitern erster und zweiter Klasse. Es werden also in eine Stampfmasse, wie unter c), metallische Pole in Gestalt einzelner Elektroden oder aber wie bei Keller in Form einer größeren Zahl von Eisenstäben eingebettet.

Schließlich kann der Herd auch nicht leitend sein.

Siehe The Iron Age 1909, S. 1753.

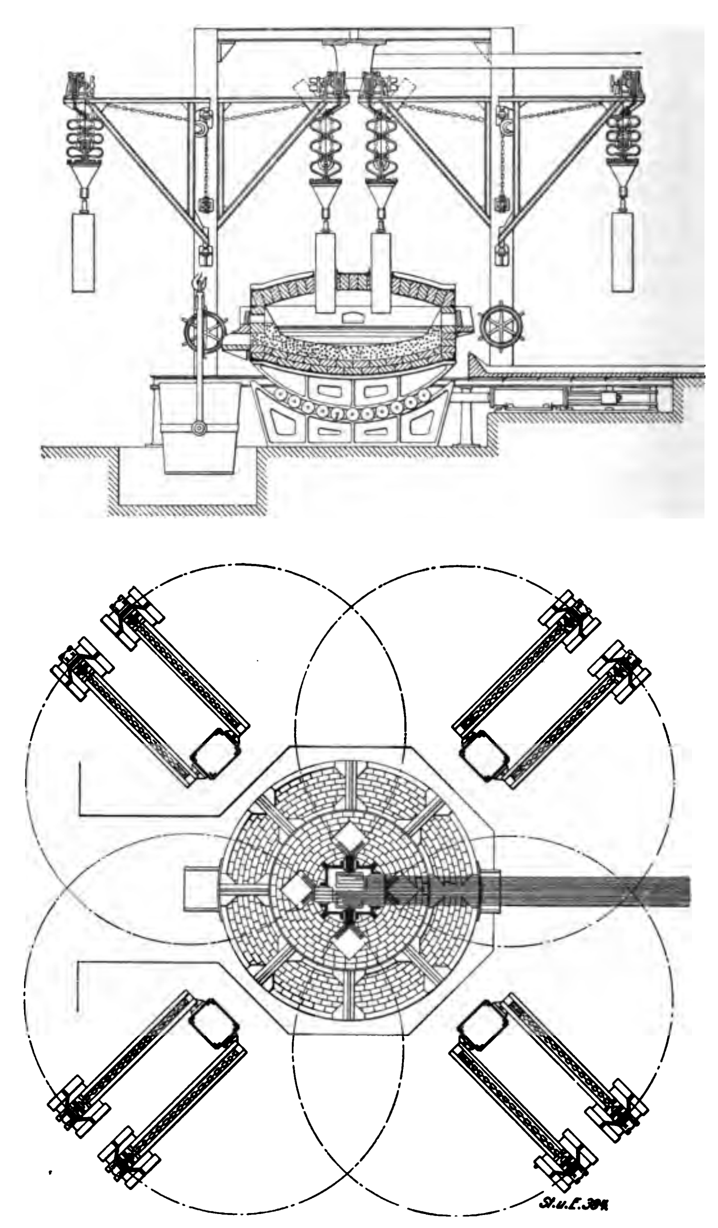


Fig. 99 und 100. Aufriß und Grundriß des Keller-Ofens der Stahlwerke J. Holtzer zu Unieux.

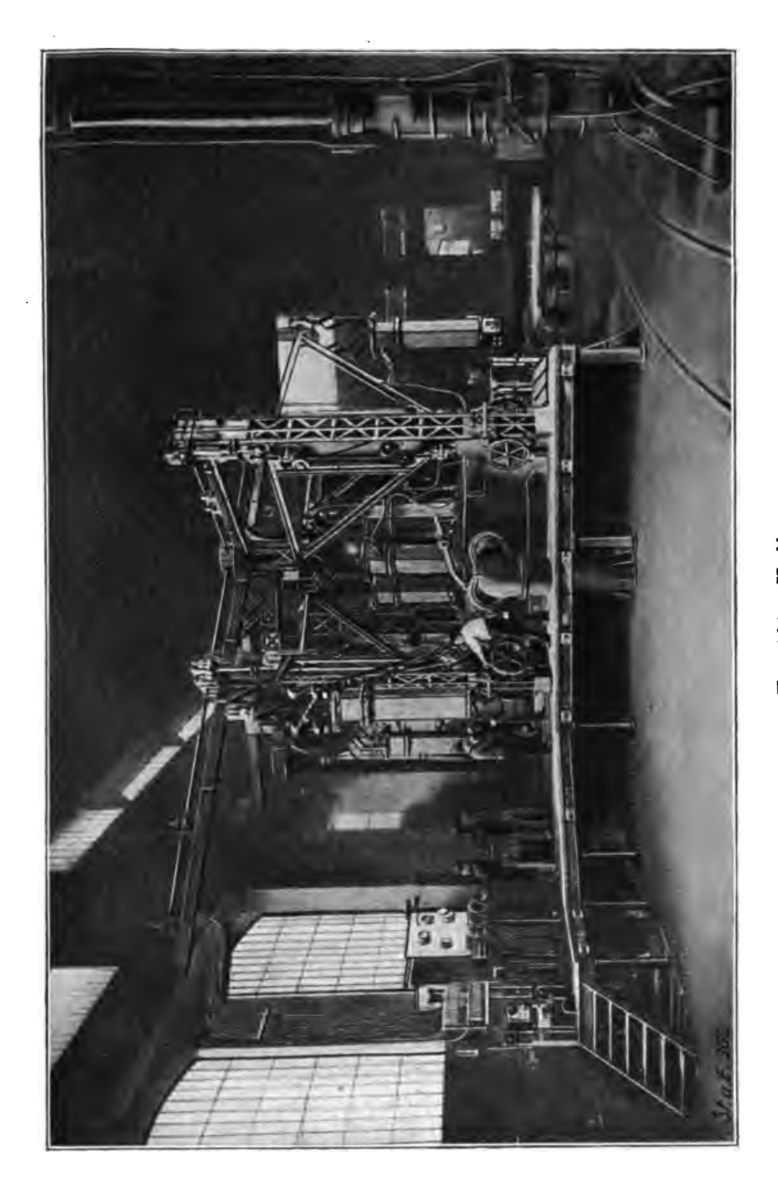


Fig. 101. Keller.

auch einen aus zwei Herden bestehenden Ofen konstruiert[1]), wobei in dem oberen Herd das oxydierende Schmelzen von Schrot, im unteren die Nachraffination vollzogen werden sollte.

---

[1]) Siehe Schroeder, Beitrag zum Studium der Elektrostahlöfen, Stahl und Eisen 1909, S. 1302 ff.

Wieder anderer Ausführungsart ist der Kellersche Ofen in den Aciéries Holtzer in Unieux. Er ist ein Herdofen mit 4 Kohlenelektroden. Dabei sind an Drehständern stets zwei Elektroden aufgehängt, von denen eine in den Herd ragt, während die andere als Reserve dient, um eine Auswechslung in raschester Zeit (in 2—3 Minuten) zu gestatten. Der Herd besitzt keine Stromableitung und ist kippbar eingerichtet. Für Verteilung des Stromes wurde die „strahlenförmige elektrische Verteilung" Kellers verwendet[1]). Bei dieser sind zwei gleichnamige Elektrodenpole parallel geschaltet. Die Anordnung der Stromzuführung ist so, daß sie von einem über der Mitte des Herdes gelegenen Zentralpunkt aus erfolgt. Letzterer besteht aus einem Bündel von Kupferstäben, von welchem aus 4 Stromkreise gehen. Je zwei sind gleichzeitig in Verwendung, die anderen dienen jenen Elektroden, welche außer Betrieb sind. Es sind also, wie oben bereits erwähnt, stets zwei Paare Elektroden oberhalb des Herdes und ebensoviel in Reserve aufgehängt.

Keller nahm aber auch ein Patent[2]) auf hintereinandergeschaltete Elektroden, bei welchem jene gleicher Polarität in je einem Raume sind, so daß also zwei getrennte Schmelzräume bestehen. Die beiden Räume sind durch einen Kanal verbunden. Der Strom muß dann durch die Tiefe des Bades durchgehen. Für den Fall, daß hier nur je eine Elektrode in einem Schmelzraum verwendet würde, käme man auf das Verfahren von Chaplet.

Besonders günstige Erfolge scheint in dieser Periode der Héroultsche Raffinationsofen erreicht zu haben. So berichtete Guillet vor dem Kongreß für angewandte Chemie zu Rom vom Jahre 1907 über seine Untersuchungen mit Héroultschem Stahl im Vergleich zum Tiegelstahl,

„daß der Héroultsche Stahl:

1. bei gleicher Zähigkeit einen um 20—40 % höheren Kohlenstoffgehalt verträgt und daher der Abnutzung größeren Widerstand entgegenstellt;

2. daß er eine auffallend hohe Fließgrenze und Kontraktion habe;

3. daß er vollständig blasenfrei sei und daß bei richtig geübtem Prozeß keinerlei Oberflächenfehler oder Längsrisse auftreten;

4. daß er vollständig desoxydiert sei und keine Emulsionen von Siliziumoxyd oder Manganoxyd enthalte;

5. daß der Gehalt an Kupfer und Arsen, solange kein Schwefel anwesend sei, keinen nachteiligen Einfluß ausübe;

6. daß Saigerungen von Phosphor und Schwefel nicht vorkommen;

7. daß er sich weicher und besser schmiede und höhere Erwärmung vertrage als Tiegelstahl;

[1]) Französisches Patent 53 475 „distribution électrique rayonnante".
[2]) Französisches Patent 336 403.

8. daß seine Gestehungskosten weit unter denjenigen des Tiegelstahls bleiben;

9. daß er unabhängig von der Qualität des Rohmateriales sei;

10. daß seine Erzeugung mit weniger Anstrengung für die Arbeiter verknüpft sei als diejenige von Tiegelstahl;

11. daß seine Reinheit diejenige fast aller Tiegelstahle übertreffe;

12. daß das Verfahren ermögliche, jede Art Legierungsstahl, sogar solchen mit bisher für unmöglich gehaltener Analyse herzustellen;

Das Héroultsche Verfahren eröffne überhaupt einen Fernblick in die Erzeugungsmöglichkeiten der Zukunft, welcher bisher undenkbar erschien."

Nach Eichhoff kostet 1 t Héroultstahl bei kaltem Einsatz 82 bis 95 M., bei flüssigem Einsatz 77—85 M., wobei 1,7 Pf. Stromkosten pro KWst. angenommen sind.

Der Kraftbedarf sei für 1 t Stahl 385 KWst.

Eine andere überaus günstige Nachricht über den Héroult-Ofen[1]) geht dahin, daß ein bei der Gesellschaft Lindenberg in Remscheid-Hasten stehender elektrischer Stahlofen die zweitausendste Charge ertrug, ohne daß jemals Reparaturschichten eingelegt zu werden brauchten. Die Betriebszeit reichte vom 22. März 1906 bis 5. Juli 1907. Der Héroult-Ofen erreichte also eine außerordentliche, bisher in Eisenhüttenbetrieben nicht gekannte Lebensdauer. Dazu berichtet Thallner[2]), daß 2337 Chargen von diesem Ofen ausgehalten wurden, ohne daß er seiner äußeren Beschaffenheit wegen reparaturbedürftig geworden wäre. Saconey gab zu, daß das Hèroultsche Verfahren von der Verunreinigung des Rohmaterials vollständig unabhängig sei, und Thallner meinte: „Die Desoxydation findet mit einer durch andere Prozesse mit gleich chemisch unreinem Einsatze niemals und unter keinen Umständen erzielbaren gleich großen Sicherheit statt".

Auch in Amerika hatte der Héroultsche Stahlofen die besten Erfolge erzielt, wie aus den Berichten Turnbulls in der American Electrochemical Society vom Jahre 1909 hervorgeht[3]). Nach denselben brauchte man in Amerika zum Einschmelzen und Fertigfrischen für 1 t Stahl 700 KWst., zum Frischen von flüssigem Einsatz 140—180 KWst. und wird hierzu bemerkt, daß bei einem 15 t-Ofen wahrscheinlich nur 100 KWst. nötig sein dürften. Der Elektrodenverbrauch war bei kaltem Einsatz 27—29 kg, bei flüssigem 4,5—6,8 kg pro 1 t Elektrostahl, einschließlich der nicht aufgebrauchten Elektrodenreste. Die Ofenaus-

[1]) Stahl und Eisen 1907, S. 1077.

[2]) Stahl und Eisen 1907, S. 1728.

[3]) The Iron Age 1909, S. 1498. — Stahl und Eisen 1909, S. 1205.

kleidungen hielten nach Turnbull 3 Monate bis zu einem Jahre. Bemerkenswert ist ferner, daß die Illinois Steel Co. Bessemer-Stahl im Hèroult-Ofen fertig frischte und dabei Drehstrom und 3 Elektroden verwendete[1]).

Welcher Wertschätzung sich das Héroult-Verfahren um diese Zeit erfreute, geht auch aus einer Bemerkung Eichhoffs hervor, welcher eine allgemeine Annäherung an das Hèroultsche Verfahren konstatieren wollte[2]).

Die umfangreiche Anwendung erkennt man aus der Äußerung der Elektrostahl-Gesellschaft in Remscheid, welche 1909[3]) darauf hinweist, daß täglich 400—500 t Héroult-Stahl erzeugt werden und diese Menge binnen kurzem auf 1000 t pro Tag steigen wird. Diese Gesellschaft hält auch den Héroult-Ofen für viel widerstandsfähiger als jenen von Girod.

Der große Metallurge Borchers hingegen spricht bemerkenswerter Weise im Jahre 1909 sehr für den Girod-Ofen, indem er schreibt: „Wenn ich vor 6 Jahren bei Besprechung der mit Elektroden arbeitenden Öfen noch sagen konnte, daß ein einfacherer Ofen als der Héroult-Ofen kaum denkbar sei, so muß ich dies heute dahin berichtigen, daß in bezug auf die Einfachheit der Bauart und des Betriebes als auch hinsichtlich der Gewähr größter Betriebssicherheit bei höchster Leistungsfähigkeit der Héroult-Ofen heute von dem Girod-Ofen übertroffen ist"[4]).

Jedoch nicht nur die Öfen von Héroult und Girod, sondern auch die anderen Elektroeisen-Öfen wurden praktisch in großer Zahl verwertet. Nach Ansicht des Verfassers dürften im Jahre 1909 ungefähr 100 solcher Öfen bestanden haben, von welchen die Mehrzahl (etwa 60%) Elektrodenöfen waren.

Die Induktionsöfen, welche im Jahre 1904 noch wenig Ansehen genossen hatten, haben sich bis zum Jahre 1909 stark eingebürgert und eine große Vervollkommnung erfahren. Es war infolgedessen ein großer Wettstreit zwischen den Vertretern dieser beiden entgegengesetzten Richtungen der Öfen mit und ohne Elektroden entstanden, welcher aber beiden Richtungen ein gutes Recht des Bestandes ließ. Denn die Produkte aller Elektroöfen zur Raffination des Eisens waren derart, daß sie jene der gewöhnlichen Stahlerzeugung an Güte übertrafen. Insbesondere wird auf die Reinheit, die Abwesenheit von Schlacke,

---

[1]) Die Elektroden sollen 3 m lang und 60 cm dick gewesen sein. Gebrüder Siemens & Co. in Berlin-Lichtenderg stellen derartig große Kohlenelektroden her.

[2]) Stahl und Eisen 1907, S. 41 ff.

[3]) Stahl und Eisen 1909, S. 1942.

[4]) Stahl und Eisen 1909, S. 1761 ff.

Wasserstoff und Stickstoff, sowie auf die große Widerstandsfähigkeit gegen Schlagwirkung wiederholt hingewiesen.

Kirner meinte allerdings, daß die Elektrostahle zuweilen Schwierigkeiten beim Härten ergäben, indem weiche Stellen verblieben[1]); er dürfte aber mit seiner Behauptung ziemlich vereinzelt geblieben sein.

Conrad sagte[2]): „Die Hochwertigkeit des elektrischen Produktes wird so hoch geschätzt, daß sich die an den Martinprozeß anschließende Nachbehandlung unbedingt Bahn brechen wird und daß man dann auch elektrische Ofeneinheiten derselben Größe verwenden wird wie für Flammenöfen." Indem er damit auf sein eigenes Patent aufmerksam machte, gab er ein kräftiges Zeugnis für das große Vertrauen, welches man dem Elektroeisen entgegenbrachte. Er führte weiter aus, daß man bei 200-t Öfen nur 100 KWst. zur Raffination von einer Tonne Stahl benötigen dürfte. Diese Behauptung entspricht vollkommen den Angaben Pullés[3]).

Letzterer wies auf den Fortschritt hin, welchen die Elektro-Stahlerzeugung dadurch gewinnen würde, daß man Hochofengase zur Erzeugung der zur elektrischen Raffination nötigen Elektrizität verwenden würde. Er fand, daß sowohl bei der elektrischen Raffination auf Hochofenwerken als auch bei jener auf Wasserkraftwerken die Kosten von 1 t Stahl ungefähr 100 M. betragen würden.

Seine Annahme, daß dabei die KWst. des Hochofenwerkes auf 1,08 Pf. komme, wurde allerdings von Neumann bestritten, welcher dafür 2,05 Pf. angab. Als Kosten für die durch Wasserkraft erzeugte KWst. hatte Pullé 0,736 in Rechnung gestellt.

Der Energieverbrauch der Roheisenerzeugung wird um diese Zeit nach Eichhoff mit 1450—1500 KWst. pro 1 t Roheisen angenommen.

Die Roheisenerzeugung hatte in dieser 5. Periode der Elektroeisenerzeugung trotz vieler Versuche noch wenig Fortschritte gemacht; sie stak, um mit Neumann zu sprechen, am Ende dieses Abschnittes noch in den Kinderschuhen (siehe auch Fußnote). Die Idee der Verwendung des Elektrostahls zu Stahlformguß, und zwar insbesondere für größere Stücke, fand Anklang und wurde seither mehrfach mit Erfolg in die Wirklichkeit umgesetzt. Es wird also zu Ende dieses Abschnittes der elektrische Ofen auch in der Gießerei gerne verwendet[4]), womit er sich ein neues Arbeitsfeld erobert hatte.

---

[1]) Stahl und Eisen 1909, S. 142.

[2]) Stahl und Eisen 1908, S. 845.

[3]) Rassegna Mineraria 1909, S. 257. — Stahl und Eisen 1909, S. 1369.

[4]) Die erste Konstatierung in dieser Richtung dürfte Moldenke gemacht haben; siehe „Verwendung des elektrischen Ofens in der Gießerei", Stahl und Eisen 1907, S. 342. Er sagt dort: „Der elektrische Ofen muß, sofern das Schmelzverfahren so geführt wird, daß die Vorteile des Tiegelschmelzens beibehalten

Eisenlegierungen wurden wie bereits in der 4. Periode auch weiterhin, und zwar in immer größerem Maßstabe, auf elektrischem Wege erzeugt.

Ebenso hat die elektrische Aufbereitung immer mehr Beliebtheit gewonnen, wie z. B. die ungeheuren Anlagen in Dunderlandsdahl bezeugen, welche 1906 für 5000 t tägliche Erzmenge gebaut wurden.

Die elektrolytische Darstellung fand wenig Beifall und wurde auch der Vorschlag Cowper Coles', über welchen Heym berichtete, Eisenblech und Eisenrohre auf diesem Wege herzustellen, von der Praxis nicht aufgegriffen.

Die 5. Periode ist also charakterisiert durch eine starke Zunahme der elektrischen Stahlbereitung, durch die Ausbildung und Vervollkommnung der Induktionsöfen, sowie die Einführung des Stahlformgusses.

Die elektrische Roheisenerzeugung war wieder vielfach und auch nicht ohne Erfolg versucht worden, ohne sich jedoch derartig technisch und wirtschaftlich brauchbar zu erweisen, daß ihre praktische Verwertung Anklang finden konnte. Letztere, wenn auch nur stellenweise, zu erreichen, blieb dem 6. Zeitabschnitte, jenem der neuesten Zeit, vorbehalten[1]).

Die **6. Periode** beginnt mit dem Bericht über die wohlgelungenen Versuche der elektrischen Roheisenerzeugung in Schweden[2]).

Während die Versuche der Roheisenbereitung auf elektrischem Wege in Amerika keine nachhaltigen Erfolge hatten und ein in Baird in Kalifornien errichteter Ofen sich durchaus nicht bewährte, haben die Ingenieure Grönwall, Lindblad und Stalhane nach einer Reihe von Versuchen ihr Ziel erreicht.

---

werden, das heißt, daß die Temperatur innerhalb bestimmter Grenzen gehalten und das Metall vor oxydierenden Einflüssen geschützt wird, die Bürgschaft leisten, daß ein hochwertiges Erzeugnis erzielt wird und zwar auf die einfachste und leichteste Art. Darin dürfte eher als in der Stahlerzeugung aus Erz das Schwergewicht des elektrischen Ofens zu suchen sein."

[1]) Coussergues sagt nach einem Berichte Guillets über diesen Wendepunkt der elektrischen Eisenerzeugung folgendes:

„Une première étape est déjà franchie: c'est l'utilisation du four électrique pour la fabrication d'aciers fins", und weiter: „La seconde étape au début de laquelle nous assistons actuellement, est l'emploi du four électrique pour l'obtention des produits demi-fins". Siehe Mémoires et compte rendu de la Société des Ing. C. de France 1908, II, S. 193. — Guillet, „La Métallurgie aux congrès de Londres et de Copenhague".

[2]) Neumann, Die Roheisenerzeugung im elektrischen Hochofen in Domnarvfet (Schweden), Stahl und Eisen 1909, S. 1801.

Über diese Arbeiten wird von Haanel, dem norwegischen Komitee und Yngström, dem Leiter der Versuche, an verschiedenen Stellen berichtet.

Der Plan zur elektrischen Roheisenerzeugung wurde 1906 gefaßt, und waren namhafte Gelder für die Versuche bewilligt worden, wie uns bereits bekannt ist. 1907 wurde der erste Versuchsofen in Domnarvfet in Betrieb gesetzt. Er hatte einen kleinen Schacht, welcher mit saurem

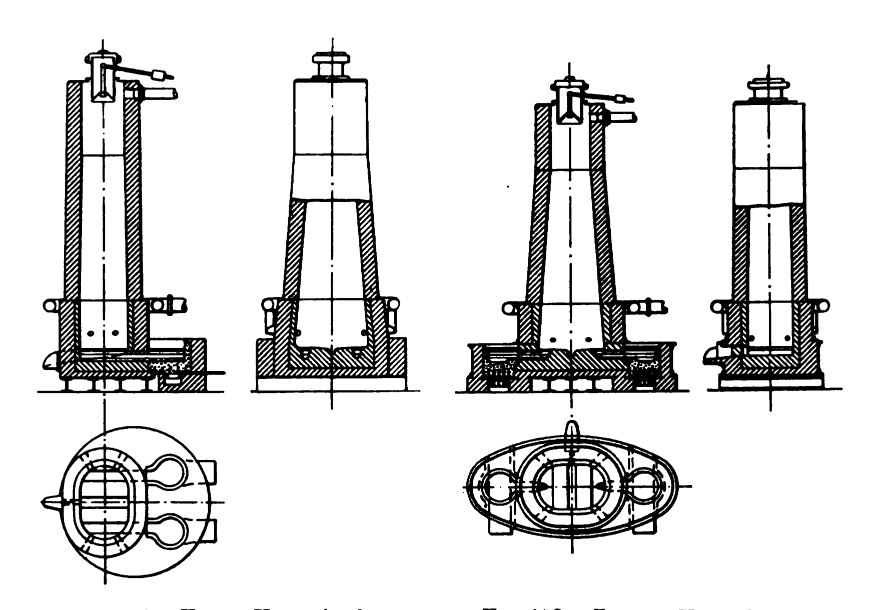


Fig. 102. Erster Versuchsofen. Fig. 103. Zweiter Versuchsofen.

Futter (Quarz) ausgekleidet war. Der Herd bestand aus zwei Rinnen mit Stromzuführung durch den aus einem Kohlenblock hergestellten Boden. Die Kohlenmasse war auf einer Kupferplatte aufgestampft worden. Die Inbetriebsetzung erfolgte durch Wind, die Weiterführung des Betriebes nach Abstellung des Windes durch den elektrischen Strom. Die Kontakte befanden sich an den auf einer Seite liegenden Enden der Rinne. Das Ergebnis dieses ersten Versuches war gut genug, um sofort an den Umbau des Ofens zu schreiten und so einen zweiten Versuchsofen zu erhalten. Er wurde mit Magnesit ausgekleidet und wurde die Stromzu- und abfuhr auf den entgegengesetzten Seiten des Ofens angebracht. Bei beiden Versuchen war der Herd in der Hitze leitend geworden, was stärkere Energieverluste ergab. Deshalb wurde beim 3. Versuche der Boden mit Graphitelektroden versehen und wurden oberhalb in der Rastwandung Kohlenelektroden mit Wasserkühlung

angebracht. So konnte das Leitendwerden des Herdes keine Verluste bringen, da der Strom in vertikaler Richtung ging. Jedoch wurde nun wieder das Mauerwerk nächst den Elektroden sehr stark angegriffen, was zu Störungen Anlaß geben mußte.

Es folgte daher im Jahre 1908 ein vierter Ofen. Bei diesem erhielt der Herd einen wesentlich größeren Durchmesser als der Schacht.

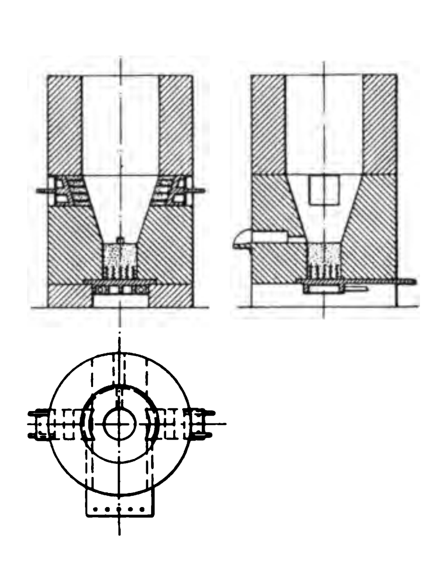




Fig. 104. Dritter Versuchsofen.

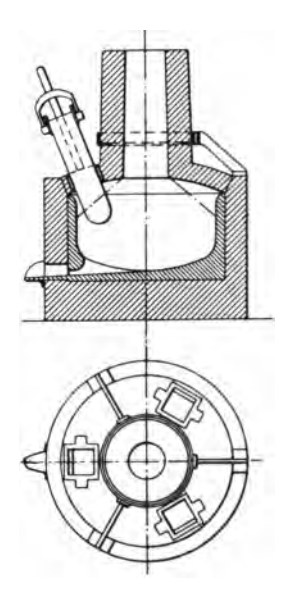


Fig. 105. Vorläufer des großen Schachtofens.

Es wurde ein großer Schmelzraum mit gewölbter Decke hergestellt, durch welchen die Elektroden seitlich schief eingeführt wurden. Die Wärme der Elektroden sollte nun auch zum Teil ausgenutzt werden können, statt daß sie nur dem Mauerwerk schädlich war. Die erste Reise mit diesem Ofen dauerte fast 4 Wochen und zeigte, daß man auf dem richtigen Wege war, Elektro-Roheisen zu erzeugen. Man erhielt ein sehr brauchbares, gut entschwefeltes Produkt und ließ sich der Kohlenstoffgehalt gut regeln. Der Kraftverbrauch betrug 4485 KWst. für die Tonne Roheisen; er war demnach sehr hoch. Es ist zu bemerken, daß bei diesem Ofen die Gichtgase noch nicht zur Wiederverwertung gelangten.

Man schritt nach diesen günstigen Erfahrungen zum Bau eines großen Hochofens, welcher bereits zu Weihnachten 1908 in Betrieb gesetzt werden konnte.

Der elektrische Roheisenerzeugungsofen hatte die Gestalt des gewöhnlichen Hochofens mit der Abweichung, daß

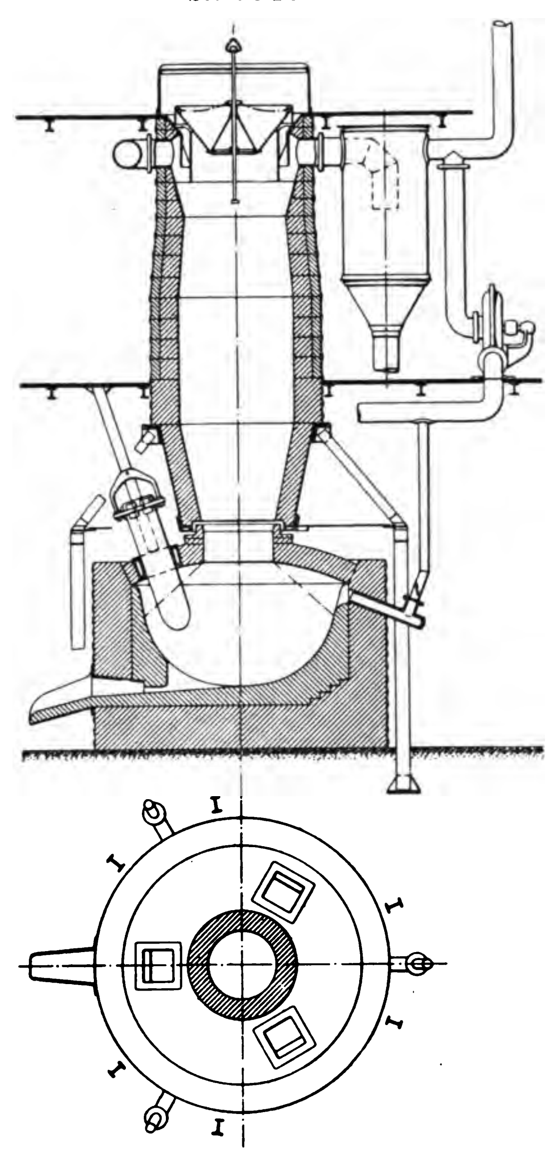


Fig. 106. Elektrischer Hochofen.

der Herd nach dem Muster des vierten Versuchsofens durch einen großen erweiterten Schmelzraum gebildet wurde. Hochofen und Herd sind als getrennte Teile ausgebildet. Der Schacht ruht auf eisernen Säulen, welche um den Herd herum aufgestellt sind. Die Gichtgase werden vom Staube gereinigt und nächst den Kohlenelektroden eingeblasen, wodurch eine Kühlung der Herddecke erhalten wird.

Drei Elektroden ragen schief durch die Decke in den Schmelzraum hinein. Dieselben sind aus zwei nebeneinanderliegenden Teilen hergestellt und an Drahtseilen aufgehängt. Sie werden von Hand aus höchstens täglich einmal reguliert. Der Schacht ist an der Gicht mit Trichter und Glocke verschlossen.

Charakteristisch sind also an diesem Ofen der Hochofenschacht, der breite Herd, die Art der Elektrodeneinführung und die Kühlung des Herdgewölbes durch die Gichtgase, welch letztere auch als Reduktionsmittel wirken.

Was die Kühlung des Gewölbes anbelangt, so ist diese sowohl wegen der Haltbarkeit als auch deshalb notwendig, weil das Material desselben in der Hitze leitend wird.

Der Ofen wurde mit Drehstrom von 25 Perioden betrieben, die Transformatorspannung betrug normalerweise 40 Volt. Durch Regelung am Generator, also in der Primärwicklung, war es möglich, die Spannung zwischen 20 und 80 Volt zu ändern.

Der Wirkungsgrad des Ofens betrug 54—58 %. Für 1 t Roheisen wurden anfangs 3286 KWst., später durchschnittlich über 3000 KWst. benötigt. Der Elektrodenverbrauch betrug dann 13,8 kg; die Herstellungskosten waren 50 Kronen schwedischen Geldes pro Tonne. Die Haltbarkeit des Ofens wurde mit einem Jahr geschätzt, nur die Decke und die Eintrittsstelle der Elektroden wurden stärker angegriffen, so daß hier häufigere Ausbesserungen nötig waren.

Auf Grund dieser Ergebnisse schreibt Neumann: „..... daß durch diese Versuche der Aktiebolaget Electrometall die Frage der technischen Erzeugung von Roheisen im elektrischen Ofen sogut wie gelöst ist. Die Haltbarkeit des Ofens und die Betriebsdauer waren durchaus zufriedenstellend, der Kohlenverbrauch beschränkte sich fast auf theoretische Mengen, der Elektrodenabbrand war äußerst gering, nur die Höhe des Stromverbrauches ließ noch einiges zu wünschen übrig. Es besteht aber wohl kein Zweifel, daß die neuen, viel größeren Öfen auch in dieser Hinsicht zu befriedigenden Ergebnissen gelangen werden.“

Der Leiter der Arbeiten in Domnarvfet, Ingenieur Yngström, leitete aus den Versuchsergebnissen folgende Vorzüge des elektrischen Roheisenofens gegenüber dem Hochofen ab:

1. geringere Anlagekosten, da Gebläse und Winderhitzer wegfallen;
2. Ersparung von zwei Dritteilen der Koksmengen;
3. Möglichkeit, Erzmulen ohne Brikettierung zu verhütten;
4. höherer Heizwert der Gase, da sie frei von Stickstoff sind;
5. Möglichkeit der Erzeugung wenig gekohlten Eisens;
6. weniger Wartung, da der Transport und die Begichtung von ⅔ des Brennstoffes wegfällt.

Neumann meint hierzu, daß diese Vorteile selbstverständlich nur bei billiger Wasserkraft und teurer Kohle vorhanden sind. Die Koksersparnis werde durch den elektrischen Kraftverbrauch aufgehoben. Da auch der Wirkungsgrad mit höchstens 58 % gegenüber jenem von 80 % beim Hochofen sehr gering sei, könne von einer Überlegenheit des elektrischen Roheisenofens noch keine Rede sein.

Nach Brisker[1]), welcher den Ofenprozeß in Domnarvfet nachrechnete, ist der Wirkungsgrad des elektrischen Ofens besser, als angegeben wurde. Er wies auf die (indirekte) Reduktionswirkung der aufsteigenden eingeblasenen Gase im Schachte hin ($2\,CO = C + CO_2$), fand, daß der Ofen bis zu 75 Prozent mit seinen Erzen beschickt werden könne und meinte, daß das Elektroeisen, insbesondere bei der Anfertigung von Spezialstahl, sehr gut anzuwenden sei. Es habe eine Reinheit, an die beim Koksbetrieb gar nicht zu denken sei.

Die Erfolge in Domnarvfet regten auch zu neuen Versuchen auf diesem Gebiete in anderen Ländern an. So wurde in Tinfos bei Skien in Norwegen ein Versuchsofen gebaut, dessen Produkte dem besten schwedischen Roheisen gleichkamen. Dabei war es angeblich um 30—40 % billiger als dieses[2]).

In Kalifornien war nach Héroults nicht genügend gelungenen Versuchen ein Ofen von Lyon in Héroult gebaut worden, der auch wieder umgebaut wurde. Er war dem schwedischen Ofen ähnlich und hatte 6 Elektroden. Die Erzaufgabe erfolgte seitlich an der Gicht, die Gichtgase wurden zur Vorwärmung des Erzes benutzt. Der größere Teil der Gase wurde jedoch aus der Mitte des Ofens abgesaugt, um viel Kohlenoxyd zu erhalten, das dann wieder zwischen den Elektroden eingeblasen werden konnte. Nach Tissowski[3]) waren die Ergebnisse glänzend, so daß nur 1600 KWst. pro 1 t Roheisen gebraucht wurden und der Bau von weiteren 5 Öfen beschlossen wurde. In dem Lyonschen Ofen soll auch Gießereiroheisen erzeugt worden sein.

Im Jahre 1900 wurde ein Patent von Bouneau bekannt[4]), welches einen elektrischen Hochofen vorsieht, der aus einem Vorwärmeraum mit schiefem Boden und einem darunterliegenden Reduktionsraum besteht. Die Kohlenelektroden befinden sich im Boden des Schmelzraumes und sind auf einem fahrbaren Gestell gelagert. Die Beschickung wird seitlich in den Vorwärmeraum gegeben und rutscht in den Reduktionsraum herunter, dessen unterer Teil den Schmelzraum bildet. Das flüssige Material tropft zwischen den Elektroden durch und kommt

---

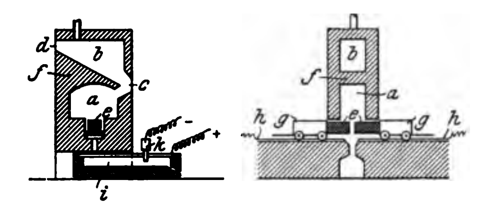
[1]) Stahl und Eisen 1910, S. 1049 f.

[2]) Iron and Coal Trade Review 1910, S. 211.

[3]) The Eng. a. Mining Journal 1910, S. 255 u. 269, August.

[4]) Österreichisches Patent 40 716.

durch eine Öffnung im Boden des Schmelzraumes in einen Herd. Dieser ist seitlich erweitert, um den Platz für die Elektrode zu schaffen. Von letzterer aus geht ein Lichtbogen zu dem aus Kohle bestehenden Herdboden durch das Schmelzgut hindurch.



*a* Reduktionsraum,
*b* Vorwärmeraum,
*c* Schauloch,
*d* Beschickungsöffnung,
*e* Elektroden,
*f* Gewölbe,
*g* fahrbare Elektrodenhalter,
*h* stromleitende Schiene,
*i* Herd,
*k* bewegliche Elektrode.

Fig. 107. Bouneau.

Ein Vorschlag Taylors besteht darin, einen Schachtofen mit rastförmigem Herd zu bauen. Am oberen Rande der Rast sind 4 Elektroden kreuzförmig eingelegt. Der Herdboden ist leitend und an der Gicht befindet sich eine weitere Elektrode. Von dieser soll der Strom zum Boden gehen. Es sind demnach drei Stromkreise im Ofen vorhanden.

In Taylors Ofen soll die Beschickung nicht schichtenweise, sondern ring- bzw. zylinderförmig erfolgen: innen Koks, erster Ring Möllerung, zweiter, äußerer Ring feine Erze. Die Materialzuführung ist durch Schneckentransporteure gedacht. Zu diesem Vorschlag bemerkt der Berichterstatter von Stahl und Eisen: „Vom Papiervorschlag bis zu einem arbeitenden Ofen ist noch ein weiter Schritt."

Frick will einen Roheisenofen bauen, der dem schwedischen sehr ähnlich ist. Er arbeitet mit Zweiphasenstrom und 4 Elektroden. Diese werden von Holzkohle oder Koks umgeben, um vor Oxydation geschützt zu sein[1]).

Die letztgenannten Öfen und jener von Ljunberg, der im Schmelzherd keinen freien Raum lassen sollte, blieben am Papier.

Hingegen berichtet Carcano[2]) über die Erzeugung von Roheisen aus Kiesabbrand im elektrischen Ofen in Oberitalien. Dort wurden die Abfälle von der Schwefelsäureerzeugung verschmolzen und gaben ein gutes Roheisen zu einem billigeren Preis, als dies bei Verarbeitung im Hochofen möglich wäre. Der Schwefel wurde in weitgehender Weise entfernt.

Im Jahre 1910 wurde anschließend an die Versuche in Domnarvfet ein Hochofen am Trollhättan errichtet[3]). Der Ofen wurde in großen

---

[1]) Stahl und Eisen 1911, S. 117.

[2]) Elektrochemische Zeitschrift 1910, Sept., S. 164.

[3]) Stahl und Eisen 1911, S. 1010. Neumann, Über die elektrische Roheisenerzeugung auf dem Versuchswerk am Trollhättan. — Eng. News 1911, S. 61. — Rev. univ. 1912, S. 127 ff. usw.

Dimensionen nach dem Vorbilde Domnarvfet ausgeführt und hat eine Höhe von 13,7 m über dem Erdboden. Der Schacht wurde von einem Mantel umgeben, welcher auf Trägern aufgehängt ist. Der Versuch, die Gichtgase durch die Elektrodeneinführungsöffnung einzublasen,

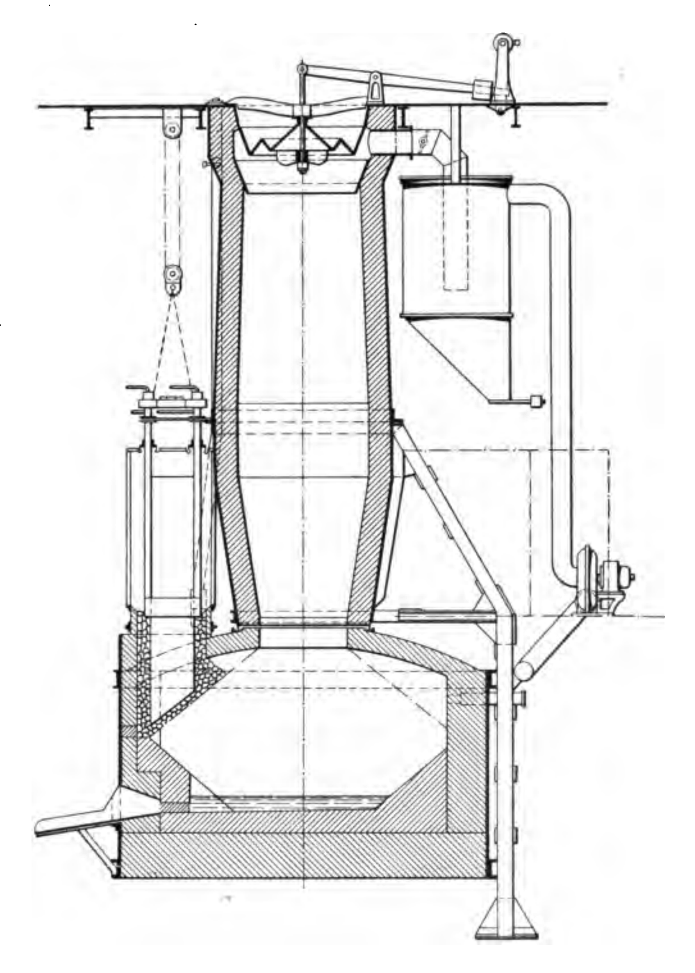


Fig. 108. Frick.

mußte aufgegeben werden, da die Kohle durch die Kohlensäure zu stark angegriffen wurde. Die angebrachte Schlackenöffnung wurde wenig benutzt. Es erwies sich als praktischer, Eisen und Schlacke gleichzeitig abzulassen. Als elektrische Kraft wurde Dreiphasen-Wechselstrom verwendet. Die Spannung des sekundären Stromes war zwischen 50 und 180 Volt zu regeln. Die erste Betriebsperiode dauerte ununter-

brochen durch ein halbes Jahr, wie Leffler und Odelberg unter dem 13. Mai an den Jernkontor berichteten.

Der Kraftverbrauch betrug 2391 KWst., der Elektrodenverbrauch 10 kg pro 1 t Roheisen. Die Qualität des Erzeugnisses hatte man vollständig in der Hand. Bei diesen Versuchen hielt das Gewölbe viel besser als bei den früheren, wobei die gute Gaszirkulation und die in mit Wasser berieselten Wäschern erhaltene Kühlung ausschlaggebend waren. Die Windpressung betrug 0,3 bis 0,4 atm Überdruck. Während fünf Monaten waren nur 18 Stunden für Reparaturzwecke nötig gewesen.

Später wurden statt der bisher üblichen viereckigen auch runde Elektroden verwendet, welche miteinander verschraubt wurden. Dadurch sank der Elektrodenverbrauch bis auf 5,5 kg pro 1 t Roheisen herunter.

Zu diesen Versuchen bemerkt Odelberg, daß sich Elektroroheisen mit schwammigem Bruch als sehr geeignet für die weitere Verarbeitung im Martinofen erweist.

Nach einem Bericht von Leffler und Nyström an den Jernkontor wurden in einer Betriebsperiode vom 4. August 1911 bis zum 6. März 1912 als weiterer Fortschritt die Elektroden nicht mehr am Ende, sondern an der Eintrittsstelle in das Gewölbe gehalten und mit der Stromzuführung versehen. Dadurch wurde der außenstehende Teil durch den Strom nicht direkt erhitzt. Man hoffte, bei gutem Gang und gleichzeitiger Beschickung auf 5 kg Elektrodenverbrauch herunterzukommen. Es wurden auch bis zu 30 % Schlich mit Vorteil verhüttet. Der Wirkungsgrad des Ofens soll bereits 80,2 % betragen haben.

Infolge der großen Erfolge in Domnarvfet und am Trollhättan wurden in Skandinavien eine Reihe von elektrischen Roheisenöfen gebaut, so daß Ende 1911 4 Öfen in Schweden und 4 in Norwegen in Betrieb waren. Davon wurden die neueren mit Drehstrom betrieben.

Unterdessen war auch in Héroult in Kalifornien wieder ein Ofen aufgestellt worden. Dieser war ähnlicher Art wie jener am Trollhättan. Der Konstrukteur desselben war Noble. Auch hier war der Schacht aufgehängt[1]). Derselbe war erheblich kleiner als jener in Schweden; denn nach Noble sollte sich der notwendige Rauminhalt des Schachtes zu jenem der täglichen Beschickung, unter Voraussetzung zylindrischen Profils, wie 1,55 : 1 verhalten. Es wurde Dreiphasenstrom von 60 Perioden verwendet. Die Regelung der Spannung im sekundären Stromkreis wurde in diesem selbst besorgt, was für die Ingangsetzung des Ofens von Wichtigkeit war. Während beim schwedischen Ofen das Freibrennen der Elektroden gewünscht wurde, sind die Elektroden in

[1]) Frick, Die elektrische Reduktion von Eisenerzen, nach Metall. Chem. Eng. 1911, S. 630. — Stahl und Eisen 1912, S. 317.

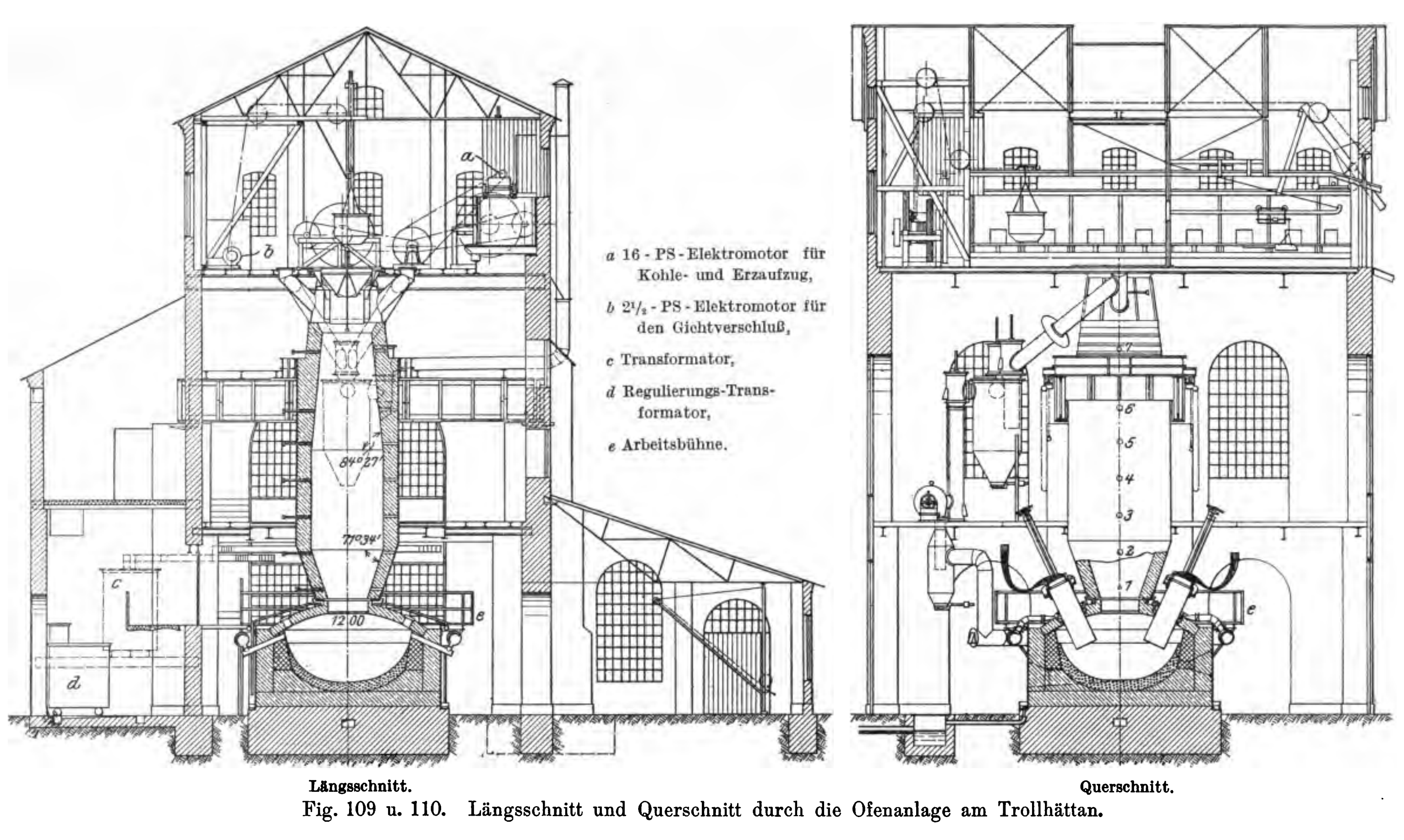



Fig. 109 u. 110. Längsschnitt und Querschnitt durch die Ofenanlage am Trollhättan.

Kalifornien soweit wie möglich in die Beschickung hineingesteckt worden. Dies ergab zwar einen häufigen Bruch derselben, sollte aber das Gewölbe vor der strahlenden Wärme der Elektroden möglichst schützen. Der Stromverbrauch wurde mit 1940 KWst. für eine Tonne Roheisen angegeben.

Hierzu muß jedoch bemerkt werden, daß bei den bekannten amerikanischen Versuchen der elektrischen Roheisenerzeugung zumeist außerordentlich günstige Resultate mitgeteilt wurden, mit welchen die praktische Weiterverfolgung oder Nichtverfolgung der Ideen und Versuche wenig im Einklang stand. Immerhin scheint der Erfolg ein guter gewesen zu sein.

Lyon bemerkt zur kalifornischen Erzeugung, daß das dort erhaltene Elektroroheisen für Gießereizwecke sehr geeignet ist und mit viel altem Eisen von hohem Schwefel-, Phosphor- und gebundenem Kohlenstoffgehalt eingeschmolzen werden kann.

Richards schlug vor, das Gewölbe nicht durch Einblasen von Gasen, sondern durch wassergekühlte Kupferplatten auf eine nicht schädliche Temperatur zu bringen.

Johnson will dem Hochofen einen Vorwärmer geben, so daß er nur als Reduktions- und Schmelzraum zu verwenden ist[1]).

Gibson Martin will in den Hochofen Luft einführen und diese vorher elektrisch heizen[2]).

Hinden will in einem Drehrohrofen und mehreren Schmelzöfen unter Mitwirkung des elektrischen Stromes reduzieren und schmelzen[3]). Er kombiniert auch zwecks Gichtgasverwertung einen Erzreduktionsofen, einen elektrischen Erzschmelzofen und einen Generator für die Regenerierung der Gichtgase zu einer Anlage für die Roheisenerzeugung. Damit eine kontinuierliche Arbeit leicht durchführbar sei, sollten die Öfen fahrbar bzw. um eine vertikale Achse drehbar gemacht werden[4]).

Ein Verfahren zur Beheizung von Gebläsehochöfen auf elektrischem Wege stammt von Kjellin[5]). Es werden im Hochofenschacht in einer Höhe, in der die Reduktion der niedrigeren Oxydationsstufen des Eisens zu metallischem Eisen beginnt, Elektroden seitlich eingeführt, um elektrisch zu heizen. Dadurch soll eine Ersparnis an Kohle erreicht werden, welche größer ist, als der zugeführten elektrischen Energie entsprechen würde.

Die Wetcarbonizing Limited in London will die Abgase in einer Höhe aus dem Ofen absaugen, in welcher sie noch frei sind von der aus

---

[1]) Iron Age 1912, S. 450.
[2]) D. R. P. 246 618 von 1910.
[3]) D. R. P. 246 385 von 1910.
[4]) D. R. P. Nr. 249 188 von 1910 und D. R. P. Nr. 246 385 von 1910.
[5]) D. R. P. Nr. 227 742 von 1909.

den Rohstoffen stammenden Feuchtigkeit, um sie sodann wieder dem Herde zuzuführen[1]).

Um die Reinheit und Homogenität des Erzeugnisses zu fördern, will Martin[2]) die Gebläseluft mittels des elektrischen Lichtbogens vorbehandeln, so daß sie ionisiert und vollkommen getrocknet in den Hochofen gelangt.

Von Louvier und Louis[3]) in Spanien wird berichtet, daß sie Versuche mit einem Widerstandsofen durchführten, um aus kaltem Schrot und aus Schlacke von Hochöfen, Kupol- oder Puddelöfen Roheisen und Ferrosilizium zu erzeugen.

Bemerkenswert sind hier auch die Laboratoriumsversuche Keenleys, Stahl- und Eisenlegierungen direkt aus den Erzen zu gewinnen. Dieselben gelangen ihm und benötigte er 4000—14000 KWst. pro 1 t fertigen Produktes.

Eine neue Ofenbauart für die Verhüttung von Erzen, welche in neuester Zeit in Domnarvfet ausgeführt wurde, ist jene von Helfenstein. Sein Ofen war zuerst für Carbid- und Ferrosiliziumgewinnung eingerichtet und verwendet worden und wurde zu diesem Zwecke laut beistehender Figur mit Einzelschächten gebaut.

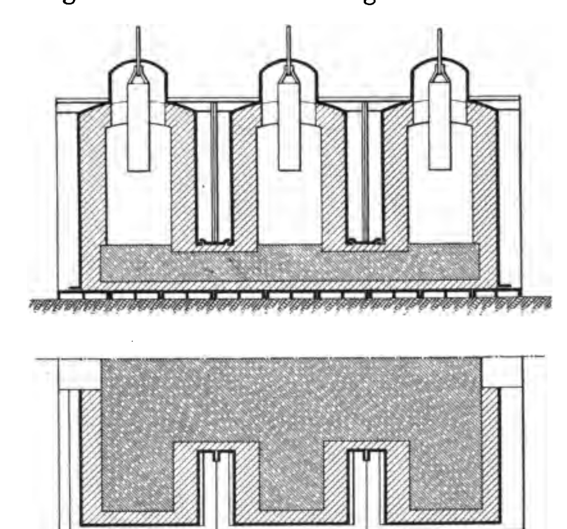


Fig. 111. Helfenstein. Drehstromofen mit Einzelschächten für Carbid- und Ferrosiliziumerzeugung.

Der aus diesem hervorgegangene Roheisenofen jedoch erhielt einen einheitlichen großen Schmelzraum. Er gleicht einem großen Martinofen,

[1]) D. R. P. Nr. 263 205 von 1911.
[2]) Amerikanisches Patent Nr. 975 625.
[3]) Stahl und Eisen 1911, S. 486.

in welchen von oben die Elektroden vertikal hineinragen. Die Öffnungen, durch welche sie eingeführt werden, dienen gleichzeitig zum Einwurf der Beschickung, so daß die letztere sich um die Elektroden herum anhäuft und diese vollständig einschließt. Eine Inanspruchnahme des Gewölbes durch die Hitze der Elektroden kann infolgedessen nicht eintreten. Der Ofen wird mit Drehstrom betrieben, daher 3 Elektroden vorhanden sind. Die Spannung des durch den Ofen gehenden Stromes beträgt 80—100 V. Über die Erfolge mit diesem Ofen ist Näheres noch nicht bekannt. Man glaubt jedoch, Schlich in weit größerer Menge verhütten zu können als in den elektrischen Hochöfen.

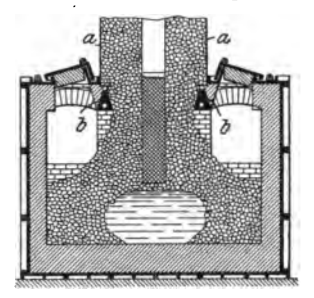
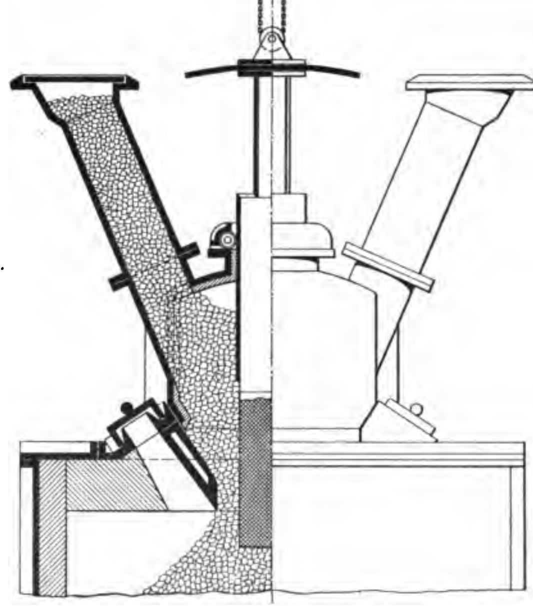



Fig. 112. Helfenstein.
a Beschickungsbehälter,
b wassergekühlter balkenartiger Träger.

Helfenstein hat zu seinen Öfen Beschickungsbehälter konstruiert[1]), welche auf die Decke des Ofens aufgesetzt werden und durch welche die Elektroden hindurchragen. Die untere Mündung des Beschickungsbehälters erstreckt sich der ganzen Länge des Ofens entlang. Wassergekühlte, blockartige Träger, die sich beiderseits auf die Ofenwände stützen, dienen der Ofendecke und dem Beschickungsapparate zur Auflage.



a Schmelzherd,
b Mischbehälter,
c Beschickungsrohre,
d Elektrode,
e wassergekühlter Kautschukring,
f Stromzuführungsschiene,
g gasdicht abschließender Flansch.

Fig. 113. Helfensteinsche Beschickungsvorrichtung.

Eine andere Form der Beschickungsvorrichtung[2]) sollte speziell dem gasdichten Abschluß dienen, ohne die Beweglichkeit der Elektroden

[1]) D. R. P. Nr. 235 061 vom Jahre 1910.
[2]) D. R. P. Nr. 226 956 von 1909.
Es sei nochmals bemerkt, daß die Helfensteinschen Erfindungen von der

zu behindern. Sie besteht aus einem glockenförmigen, eisernen Aufsatz mit schiefem Zuführungsrohr für die Beschickung, so daß oberhalb der Herddecke doch eine Trennung von Elektrodeneinführung und Beschickungsöffnung erhalten wird. Bei beiden Vorrichtungen blieb das Helfensteinsche Prinzip, die Elektroden mit Beschickungsmaterial vollständig zu umgeben, unangetastet.

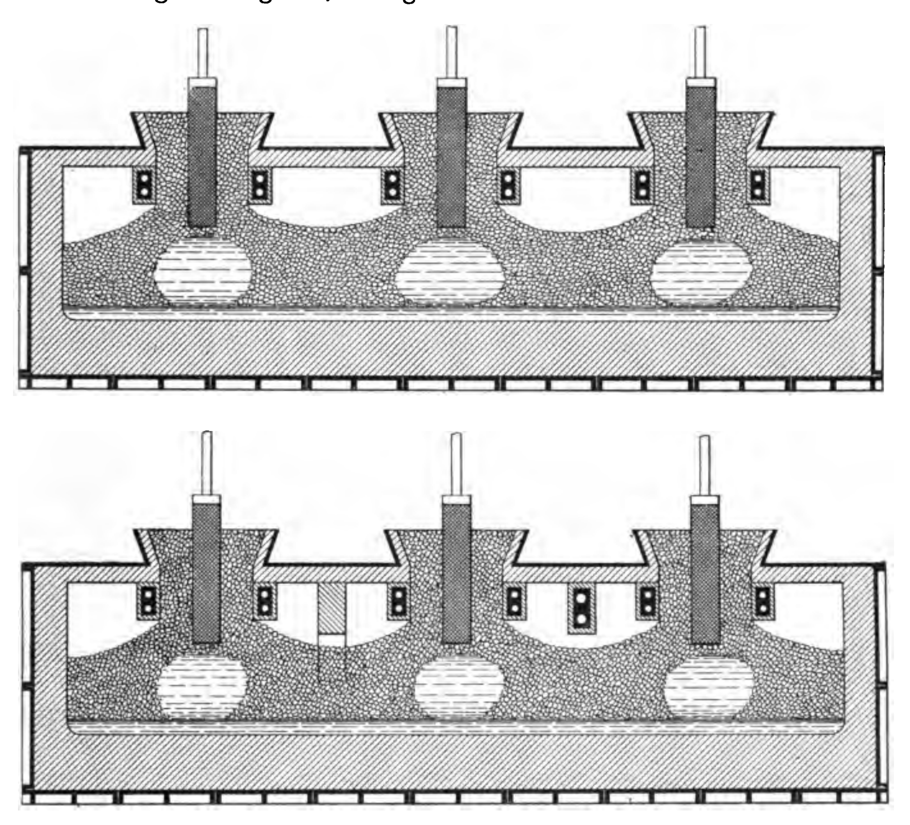


Fig. 114 und 115. Dreiphasenofen mit Deckenanordnung, Bauart Helfenstein.

Helfenstein baute also seine Öfen sowohl mit ungeteilter als geteilter Decke. Damit die nötige Haltbarkeit ermöglicht werde, hat er im ersten Falle die wassergekühlten, blockartigen Träger der Länge des Ofens nach eingezogen, während dies im zweiten Falle nicht nötig ist. Um das Eisenbad entsprechend beobachten zu können, hat er

Karbidindustrie ausgegangen sind, von dieser auf die Erzeugung von Ferrosilizium, sodann Roheisen und schließlich auf die Raffination und die direkte Erzeugung aus Erzen übergingen.

neben und um die Beschickungsschächte Schlitze angebracht, welche durch gasdicht abschließende Deckel zugedeckt werden.

Helfenstein verwendet bei seinen Öfen die Abgase wieder zur Vorreduktion, meint jedoch, daß man das Kohlenoxyd auch anderweitig sehr gut verwerten könnte. Er tritt sehr für große Ofeneinheiten ein und findet, daß dieselben auch ein reineres Erzeugnis infolge Selbstraffination des Schmelzgutes abgeben.

Zu Tinfos wurden Reduktionsöfen Bauart Lorentzen aufgestellt, die sich bewährten. Bei diesen ragen eine einzige oder zwei sehr breite Kohlenelektroden vertikal in den Schmelzraum hinein. Diese Elektroden bestehen aus drei oder vier quadratischen durch eine gemeinsame Fassung zu je einem Ganzen vereinigten Kohlestücken. Von denselben geht der Strom zur Bodenelektrode, welche aus geheimnisvoller, leitender Stampfmasse hergestellt wird. Die Beschickung fällt zu beiden Seiten durch schmale, oben offene Schächte in den Schmelzraum hinein und soll ausschließlich durch Widerstandsheizung zum Schmelzen gebracht werden. Statt eines großen Ofens werden drei kleinere und ein Reserveofen aufgestellt, wodurch bei Störungen an einem derselben kein Ausfall in der Erzeugung eintreten muß.

In Kalifornien wurde indessen der Héroultsche Ofen stillgelegt und der Lyonsche niedergerissen. Hingegen wurden zwei weitere Schmelzöfen aufgestellt[1]), welche aus einem großen Herd rechteckiger Gestalt bestehen, in welchen fünf Füllschächte durch das Gewölbe führen. Zwischen diesen Schächten ragen vier Graphitelektroden vertikal durch die Decke in den Schmelzraum. Diese Öfen sind also nicht unähnlich jenen von Helfenstein.

Die neuen Elektrohochöfen in Skandinavien sollen Schmelzräume mit kegelförmigem Boden erhalten haben. Die Gewölbe müssen bei diesen Öfen nach wie vor öfter repariert werden als alle anderen Teile des Roheisenofens; man ist jedoch heute schon in der Lage, ein neues Gewölbe in 8 Stunden herzustellen, ohne den Ofen kaltstellen zu müssen. Die Einsetzung einer neuen Elektrode dauert bei der Bauart Elektrometall 10 Minuten. Die Gaszirkulation ist beibehalten worden und bewährt sich sehr. Der gewöhnliche Winddruck beträgt 0,4 atm. Die Gichtgase enthalten infolge des guten Abschlusses des Ofens nach allen Seiten gar keinen Stickstoff, dagegen aber 90 % Kohlenoxyd, wodurch Reduzierfähigkeit und Verbrennungswärme sehr hoch sind. Letztere beträgt 2300 Kalorien pro kg gegenüber 900 beim gewöhnlichen Hochofen. Allerdings sind die Gasmengen geringer als bei diesem. In Hagfors hat man angeblich die Absicht, die Abgase zur Beheizung von Martinöfen zu verwenden.

---

[1]) Met. and Chem. Eng. 1913, S. 17. Siehe auch S. 82.

Unter den zahlreichen Öfen, welche in Skandinavien gebaut wurden, ist das erfolgreichste System jenes der Elektrometall Aktiebolaget in Ludvika am Trollhättan. Die dortigen Anlagen gehören, nachdem die Studien abgeschlossen wurden, nunmehr nicht mehr dem Jernkontor, sondern einem schwedischen Eisenwerk und werden also privat und vom geschäftlichen Standpunkt aus betrieben. Das Erzeugnis ist Qualitäts-Holzkohlenroheisen für Martinhütten.

Die Betriebsergebnisse sind infolge der nunmehr stets gleichartigen Beschickung noch günstigere als früher. Es werden folgende Betriebsdaten gemeldet:

1 t Roheisen benötigt 397,6 kg Holzkohle, 2076 KWst. elektrische Energie und 2,8 kg Elektrodenkohle.

Auf 1 KW-Jahr entfällt daher eine Erzeugung von 4,2 t Roheisen,

auf 1 PS-Jahr eine solche von 3,1 t Roheisen.

Der Fortschritt, den die elektrische Roheisenerzeugung im letzten Abschnitt unserer Geschichte genommen hat, ist am besten aus folgenden Zahlen zu ersehen, von denen die erste Gruppe den Energie- und Elektrodenverbrauch pro 1000 kg erzeugtes Roheisen angibt.

| Ofen | Jahr | KWst. | Elektrodenverbrauch kg |
|---|---|---|---|
| 1. Versuchsofen in Domnarvfet . . | 1908 | 4485 | 24,1 |
| 2. Hochofen „ „ . . | 1909 | 3181 | 13,9 |
| 3. „ am Trollhättan . . . . | 1910 | 2391 | 10,0 |
| 4. „ „ „ . . . . | 1911 | 2225 | 5,7 |
| 5. „ „ „ . . . . | 1912 | 2076 | 2,8 |

| Jahr | Zahl der in Betrieb befindlichen Roheisenöfen | Jahreserzeugnis der elektr. Roheisenindustrie in t |
|---|---|---|
| 1908 | 1 Versuchsofen | 122 |
| 1910 | 2 | 890 |
| 1912 | 8 u. 1 Reserveofen | 17 566 |

Der spezifische Strom- und Elektrodenverbrauch ist also stark herabgemindert worden, wohingegen die Menge der Erzeugung ständig steigt.

Für Ende 1913 erwartete sich Beielstein[1]) eine weitere Steigerung der Ofenzahl auf 18 in Betrieb befindliche und 2 Reserveöfen, wodurch die Produktion etwa auf 40000 t jährlich gestiegen wäre[2]). Der Bau zweier neuer Öfen in Kirunavaara ist beschlossen worden. Mit

[1]) Stahl und Eisen 1913, S. 1270 ff.

[2]) Der tatsächliche Erfolg des Jahres 1913 ist aus dem II. Teile dieses Buches zu entnehmen, welcher den Stand der Elektroeisen-Industrie vom 31. Dezember 1913 charakterisiert.

diesen wird der Bedarf an elektrischer Kraft für die Roheisenindustrie Skandinaviens auf ca. 65 000 PS steigen. Die elektrische Roheisenindustrie Skandinaviens befindet sich also in raschem Aufschwung und darf vollste Beachtung auf dem Roheisenmarkte fordern.

So ergibt sich denn, daß die Frage der elektrischen Roheisenerzeugung heute auch für die Verwendung im Großbetrieb als gelöst zu betrachten ist. Das Elektroroheisen ist reiner als gewöhnliches Roheisen, trotzdem auch bei stärker schwefelhaltigen Erzen keine Vorröstung durchgeführt wird.

Nach Beielstein wird jedoch die Herstellung des Roheisens mit Hilfe der Elektrizität nur dort praktische Erfolge haben, wo der Preis einer Jahrespferdekraft höchstens 40—50 schwedische Kronen, das ist im Mittel ca. 50 M. beträgt. Deshalb wurden auch diese teuren Versuche in dem wasserreichen Skandinavien angestellt, wo elektrische Kraft sehr billig, Kohle aber teuer ist; wogegen sich die Elektroroheisenerzeugung in Amerika bis jetzt noch nicht genügend einführen konnte.

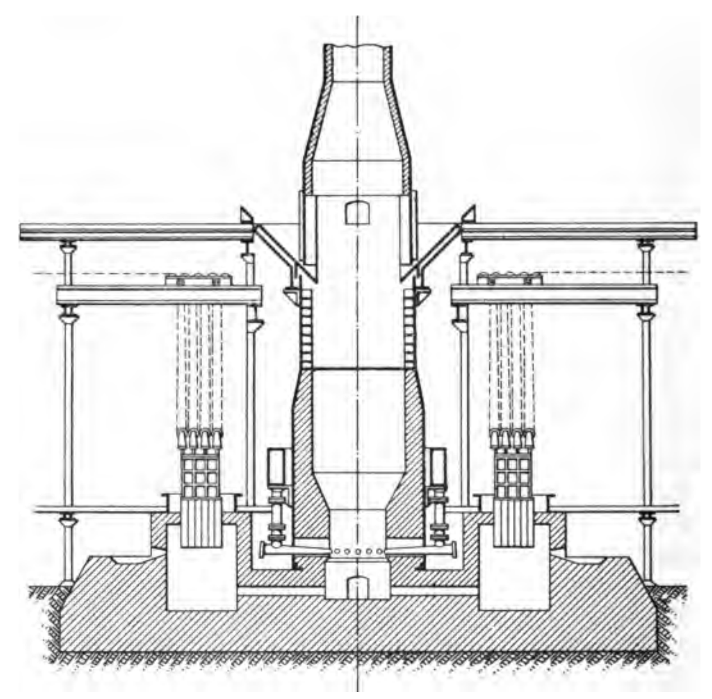


Fig. 116. Helfenstein.

Der Erfinder Helfenstein, welcher in den letzten Jahren in der elektrischen Roheisenerzeugung eine bemerkenswerte Rolle spielte, will seine Ofenkonstruktionen auch für die Eisenraffination nutz-

bar gemacht wissen. Er verbindet den mit Winddüsen versehenen Kupolofen durch vom Herde ausgehende Kanäle mit ringsherum befindlichen Helfensteinschen Öfen, um in diesen zu raffinieren. In gleicher Weise soll auch ein gewöhnlicher Gebläseschachtofen[1]) mit mehreren Raffinierzellen verbunden werden. In letzteren sind oberhalb des Bades Elektroden aufgehängt und geht der Strom sodann den Weg Elektrode—Zelle—Kanal—Hochofenherd—Kanal—Zelle—Elektrode. Außerhalb der Raffinierherde können Mulden angebracht werden, in welche das fertige Produkt ständig abfließt. Es kann aber auch ein periodisch wiederkehrender Abstich direkt aus dem Herde erfolgen. Helfensteins Herdöfen sollen also sowohl der Reduktion als auch der Raffination dienen und daher auch für die direkte Eisenerzeugung verwendet werden.

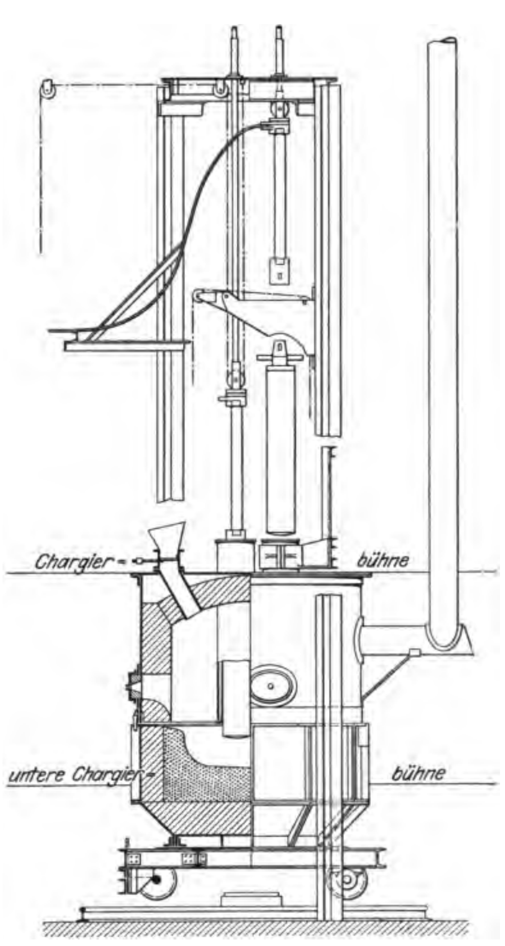


Fig. 117. Ruthenburg.

Ein anderer Universalofen soll der neue Ofen Ruthenburgs sein. Auch er soll dem Reduktions- und dem Raffinationsprozesse dienen und weiter für die Herstellung von Ferrolegierungen verwendbar sein. Er besteht aus einem auf Säulen ruhenden zylindrischen Schacht, unter welchen der fahrbare Herd geschoben wird. In der Schachtwandung sind 4 Arbeitsöffnungen und ein Gasabzug vorgesehen. Die Beschickung findet durch einen seitlich im Gewölbe angebrachten

[1]) D. R. P. Nr. 239 078 vom Jahre 1910.

Füllschacht statt. Er wird mit Drehstrom betrieben. Die drei Elektroden werden in die Schlacke eingetaucht, so daß ein reiner Widerstandsofen erhalten werden soll, bei welchem die Schlacke den Widerstand bildet. Die Elektroden will Ruthenburg bis nahe an die Schlacke herunter, also noch im Herdinnern, mit Wasserkühlung versehen.



Fig. 118. Ansicht eines Ruthenburg-Universalofens.

Mit der direkten Eisenerzeugung beschäftigt sich auch Evans, welcher Erze mit Zuschlag und Brennmaterial brikettiert und sodann in den Elektroofen bringt. Er soll in Toronto Titanlegierungen mit Erfolg hergestellt haben.

Ferner versuchten Arnou und Neveu in einem Chaplet-Ofen Weicheisen aus den Erzen herzustellen. Erz und Kohle konnten im gepulverten Zustande ohne weiteres verwendet werden und benötigten 3000—4000 KWst. pro 1 t. In größeren Öfen hoffte man mit etwa 2500 KWst. auszukommen[1]).

[1]) Revue de Métallurgie 1910, Dezember.

Dittus und Bowmann versuchten im kleinen Molybdänstahl direkt aus molybdänhaltigen Erzen zu gewinnen und gelangen ihre Versuche. Auch Stassano, Héroult, Röchling-Rodenhauser und Schatzl[1]) haben sich mit der Frage der direkten Eisenerzeugung auf elektrischem Wege befaßt.

Catani gibt über die Fortschritte auf diesem Gebiete einen ausführlichen Bericht vor dem Internationalen Kongreß für Elektrotechnik in Turin vom Jahre 1911. Er teilt mit, daß im Stassano-Ofen 4187 KWst. bei Anwendung des Lashprozesses, im Héroult-Ofen 2547 Kwst. und beim Röchling-Rodenhauser-Ofen 3530 KWst. pro 1 t Weicheisen benötigt werden. Es besteht kein Zweifel, daß das direkte elektrische Verfahren heute wesentliche Fortschritte gegenüber älteren Versuchen aufzuweisen hat, und daß es wohl durchführbar ist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das sogenannte gemischte Verfahren angewendet wird, bei welchem nicht nur Erze, sondern auch Roheisen, also ein Gemisch von beiden zur Raffination gelangt, wie dies Twymann, Monell und Lash vorschlagen[2]). Es scheint jedoch noch bei weitem nicht genügend wirtschaftlich zu sein und meint Catani, „daß die Herrschaft den älteren indirekten Verfahren noch für viele Jahre gehören wird.“

Eine der wichtigsten Erscheinungen des letzten Abschnittes auf dem Gebiete der Eisenerzeugung und zwar speziell der Raffination, ist der Elektrostahlofen System Nathusius. Derselbe wurde bereits in der fünften Periode erwähnt. Die Konstruktion hat sich seither auch bei einem 3-t-Ofen der Friedenshütte bewährt. Es sollen die Vorteile des Héroult- und Girod-Ofens tatsächlich vereint worden sein, welche darin bestehen, daß einerseits die Schlacke sehr heiß und dünnflüssig und dadurch reaktionsfähig wird, andererseits das Stahlbad vom Herd aus gut beheizt ist.

Es bestehen bei diesem Ofen 2 Drehfelder, eines zwischen den drei oberen Kohlenelektroden und eines zwischen den drei oder sechs Bodenelektroden und finden ferner Stromübergänge zwischen den oberen und unteren Polen über den im Bade liegenden Verknüpfungspunkt des Drehstromnetzes statt. Die Art der Stromführung hat auch eine langsame Rotation des ganzen Herdinhaltes und eine Wirbelbildung im Innern des Bades zur Folge, so daß eine gute Durchmischung und große Homogenität des Materiales erreicht wird. Die Beobachtung lehrt ferner, daß die Lichtbogen nicht vertikal nach abwärts gehen, sondern nach der Seite

---

[1]) Siehe IV. Anhang, Seite 174.

[2]) Catani, Bericht über die Stahlerzeugung im elektrischen Ofen aus Erz nach dem direkten Verfahren, Internationaler Kongreß für Elektrotechnik 1911.

streichen und so eine Art Lichtbogen-△ bilden. Damit die Bodenelektroden aus Stahl vor dem Angriffe des Schmelzbades geschützt werden, sind sie mit einer Schichte aus gebranntem Dolomit als leitender, aufgestampfter Masse überdeckt. Diese Masse heizt auch indirekt und verhindert, daß nur strahlenartige Stromverteilung stattfindet. Sie soll auch als eine Art Puffer gegen Stromstöße dienen.

Über die Art der Schaltung gibt das nebenstehende Schema, Fig. 119, guten Aufschluß. In demselben ist links der Generator oder Haupttransformator gedacht. Die äußeren Enden desselben sind mit den Kohlenelektroden, die inneren mit den Bodenpolen verbunden. Zu den letzteren führen aber außerdem auch noch die Stromzuführungen des Zusatztransformators, so daß dieselben mit mehr Elektrizität versorgt werden können als die Kohlen, um eine beliebig starke Erhitzung vom Boden her zu erhalten. Der Zusatztransformator ist allerdings nicht unbedingt nötig.

Beim Nathusius-Ofen besteht nach obigem die Möglichkeit, zu Anfang der Raffinationsperiode durch starke Oberflächenheizung eine

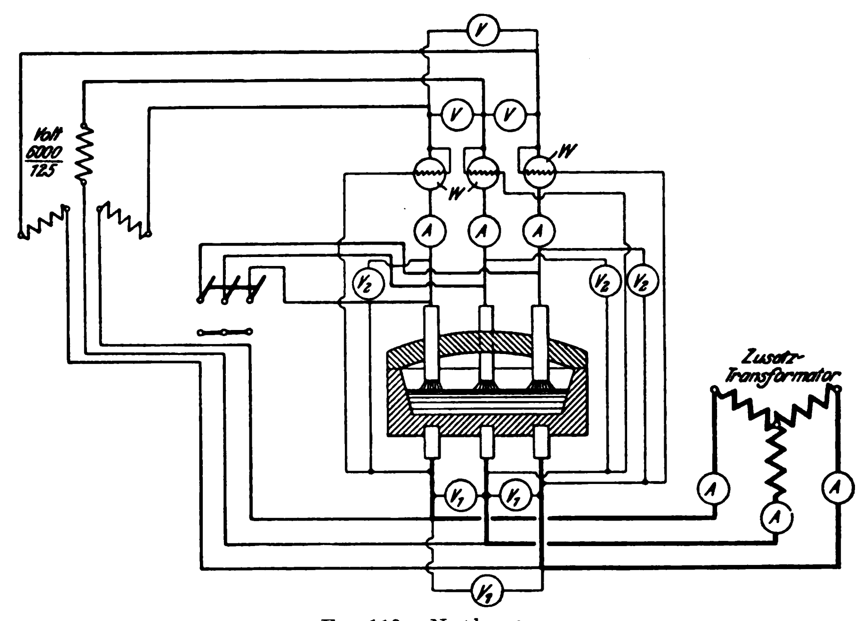



Fig. 119. Nathusius.

dünnflüssige, heiße und reaktionsfähige Schlacke zu bekommen, nachher während der Desoxydationsperiode hauptsächlich vom Bad aus zu beheizen und eventuell während des Ausgarens und Abstehenlassens durch Kurzschluß der Kohlenelektroden von unten her nur so viel Wärme

zuzuführen, daß die Leitungs- und Strahlungsverluste ausgeglichen werden.

Zwecks guter Beobachtung des Schmelzgutes während der Arbeit sind drei Türen seitlich und über dem Ausguß angebracht. Die Kohlenelektroden sind frei aufgehängt und werden hochgezogen, wenn der Ofen gekippt oder ausgebessert werden soll. Beim 3-t-Ofen der Friedenshütte konnte der Deckel in einer Stunde ausgewechselt werden. Dieser

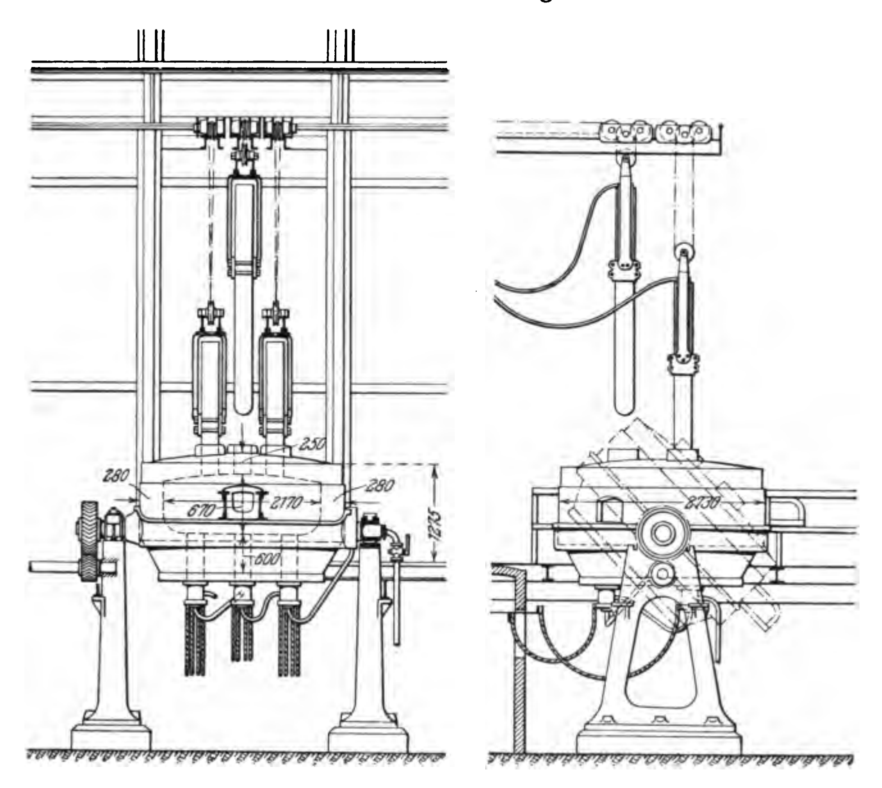



Fig. 120 und 121. Nathusius.

Ofen wird zur Raffination von Thomaschargen verwendet, wozu bei weichem Material 300—400 KWst. pro 1 t fertigen Produktes auch unter ungünstigen Umständen genügen.

Die Arbeitszeit beträgt nur 3 ½—4 Stunden. Der Ofen arbeitet nach Neumann tadellos.

Gelegentlich eines Berichtes vor dem Iron and Steel Institute 1912 bemerkt Nathusius mit Bezug auf seinen Ofen, daß der elektrische Ofen bei Erzeugung von mittelmäßiger Qualität große Dimensionen haben müßte, derart, daß eine ganze Konverter- oder Martinofencharge

auf einmal raffiniert werden könnte. Er meint auch, daß eine zweckmäßige Anwendung seines Ofens die sei, flüssige Schlacke bereitzuhalten, welche man in die Flußeisenöfen gibt, um Zeit zu ersparen und das Metallbad nicht überheizen zu müssen. Der Nathusius-Ofen wird ferner mit Vorteil zum Einschmelzen von Ferromangan, Nickel, Chrom, Wolfram, Stahl usw. unter neutraler Schlacke und neutraler Atmosphäre verwendet, ohne daß eine Veränderung der chemischen Zusammensetzung vor sich geht. Zur Stahlraffination wurden 5,7 kg Kohlenelektroden und 250 KWst. bei flüssigem Einsatz pro 1 t fertigen Erzeugnisses verbraucht, beim Umschmelzen von Ferromangan 4,3 kg Elektrodenkohle und 800 KWst.

Nathusius will auch eine Kombination verwenden, bestehend aus einem Mischer, einem Martinofen (beide kippbar) und einem Elektroofen, wobei das Gegenstromprinzip bei Schlacke und Eisenbad angewendet werden soll.

An den vollkommenen Ersatz des Konverters und Martinofens durch den Elektroofen sei jedoch derzeit nicht zu denken.

Der Strom- und Elektrodenverbrauch ist später nach Doubs[1]) bedeutend heruntergegangen. Doubs gibt bei flüssigem Einsatz 2 kg Elektrodenverbrauch und 180—300 KWst. Energiebedarf, bei festem Einsatz 4 kg Elektrodenverbrauch und 640—700 KWst. Energiebedarf an und zwar für die Nachraffination von weichem Flußeisen. Doubs rühmt auch die trotz der Bodenelektroden bestehende vorzügliche Haltbarkeit des Herdes, welche mit dem infolge der guten Bewegung und Beheizung des Bades erzielten Fehlen der Gelegenheit zur Saubildung zusammenhängt.

Über weitere Fortschritte berichtet Kunze[2]) auf Grund von genauen Untersuchungen der Bergmann-Elektrizitätswerke. Er sagt unter anderem: „Es soll zu Beginn der Charge eine möglichst große Oberflächenbeheizung, gegen Mitte und Ende eine gleichmäßige Oberflächen- und Badbeheizung und endlich kurze Zeit ausschließlich Badbeheizung erfolgen. Die Möglichkeit einer derartigen Behandlung des Schmelzgutes bietet als erster, der diesen Anforderungen entsprochen und der in der Praxis Bedeutung erlangt hat, der Nathusius-Ofen.“

Der thermische Nutzeffekt wird bei einem 6-t-Ofen mit 61—73 % angegeben. Man machte Versuche mit und ohne rotierenden Umformer und fand, daß ein nichtrotierender Umformer wesentlich bessere Erfolge erziele als der rotierende. Für 1 t Stahl wurde bei ersterem ein Bedarf von 200 KWst. erhalten.

[1]) Stahl und Eisen 1911, S. 589.
[2]) Stahl und Eisen 1912, S. 1089.

Das Prinzip der Boden- und Schlackenbeheizung unabhängig voneinander durchzuführen, ist auch beim Paragon-Ofen berücksichtigt[1]).

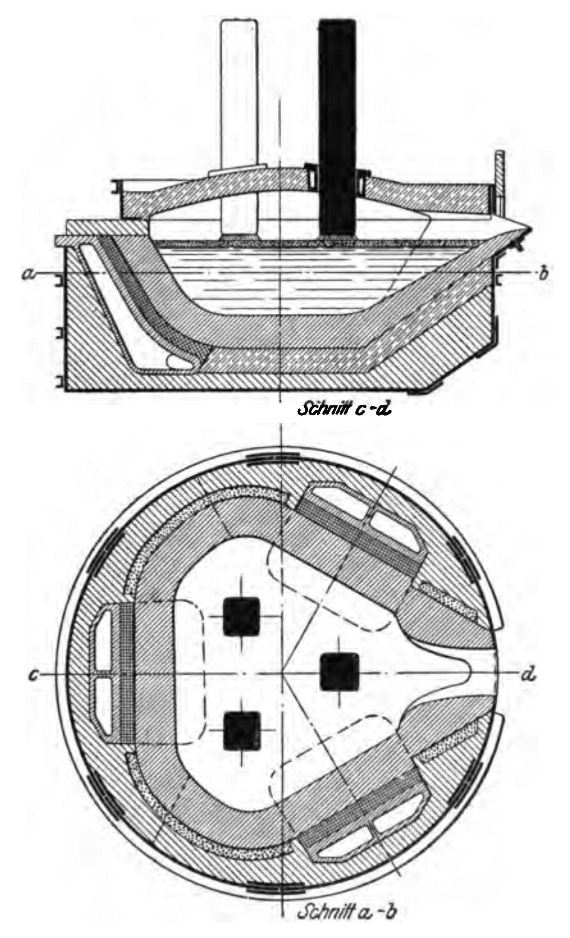



Fig. 122 und 123. Paragon.

Bei diesem sind 3 Elektroden oberhalb des Bades und 3 Polplatten in der Herdwand, letztere ähnlich wie beim Röchling-Rodenhauser-Ofen, vorgesehen. Man hat es also auch hier mit einem Lichtbogen-Widerstandsofen zu tun.

Toussaint Levoz[2]) hatte zu gleicher Zeit wie Nathusius ein Patent angemeldet, welches einen aus zwei Abteilungen bestehenden

[1]) Härden, Bericht aus Iron and Coal Trade Revue 1910, S. 907 und The Iron Age 1910, S. 1438.

[2]) D. R. P. Nr. 219 710.

kippbaren, elektrischen Ofen zur Stahlerzeugung vorsieht. Die beiden Herde sind im oberen Teile miteinander in Verbindung und kann das Gut durch Drehen des ganzen Ofens um eine horizontale Achse entweder in dem einen oder andern Herde behandelt werden. Der eine Teil dient zum Frischen ohne Elektrizität und ist mit Winddüsen versehen, der andere hat Elektrodenheizung und ist zur Desoxydation und Kohlung des Eisens bestimmt. Die Abhitze der einen Abteilung kann in der anderen verwertet werden.

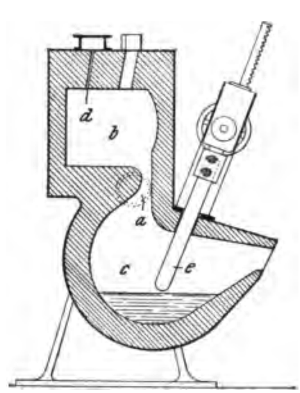



Fig. 124. Levoz.
*a* Drehachse, *d* Winddüsen,
*b, c* Kammern, *e* Elektrode.

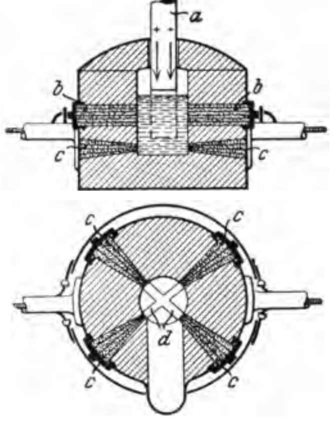



Fig. 125. Levoz.
*a* Oberflächenelektrode,
*b, c* Herdelektroden, *d* Kanäle.

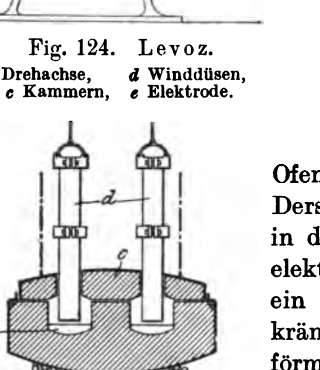



Fig. 126. Aubry.
*a* ringförmiger Herd, um eine vertikale Achse drehbar,
*b* nichtdrehbarer Deckel,
*c* Schneckengetriebe,
*d* Elektroden.

Etwas später entstand eine andere Ofenbauart Levozs mit nur einem Herd[1]). Derselbe hat kreisrunden Querschnitt und in der Mitte eine vertikale Oberflächenelektrode. In der Herdwandung liegen ein oder zwei horizontale Elektrodenkränze. Zumeist befinden sich vier kreuzförmig eingebaute Elektroden in einer Schichte. Der eine Kranz ist knapp unterhalb der Oberfläche, der zweite, wenn vorhanden, nächst dem Boden. Letzterer hat sodann die Aufgabe, in Vertiefungen des Herdbodens eingelegte Eisenstücke zu schmelzen und so den Schmelzvorgang einzuleiten.

Aubry[2]) baute den Herd ringförmig und versah den Ofen mit einer vertikalen Drehachse. Die Stromzuführung geschah durch Kohlen-

[1]) D. R. P. Nr. 261 355 von 1910.
[2]) Französisches Patent Nr. 409 540.

elektroden, welche durch den sich nicht drehenden Deckel vertikal eingeführt wurden.

Die Aktiebolaget Elektrometall änderte ihre Elektrodenöfen dahin, daß sie die Elektroden mit einer Steuerungsvorrichtung versah[1]), welche es gestattet, dieselben beim Kippen des Ofens herauszuziehen. Es wird so der Ofen selbst ohne die Elektrodenhalter geneigt.

Girod[2]) versuchte es, den Herd seines Ofens zwecks besserer Konservierung der Bodenelektroden derart umzugestalten, daß er dieselben im Ofengemäuer stark vertieft einlegt. Das geschmolzene

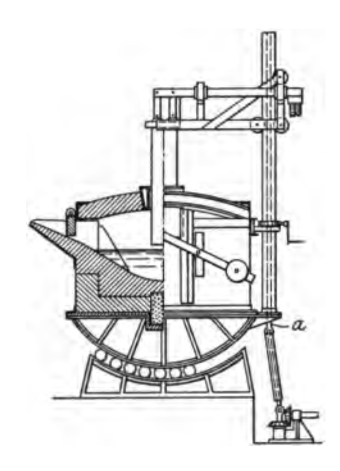



Fig. 127.
Aktiebolaget Elektrometall.

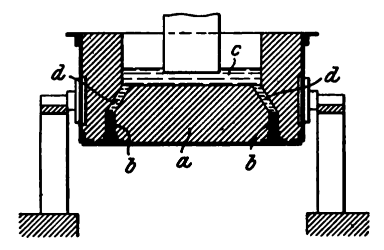



Fig. 128. Girod.
a Ofensohle, b Elektroden mit Kohlung, c Metallbad, d erstarrendes Metall.

Gut bildet infolgedessen eine dicke Schichte über diesen Elektroden, erstarrt zum Teil in den Vertiefungen und schützt die Elektroden vor dem Anfressen durch die Schmelze.

Eine andere Änderung geht dahin, auch den Herd selbst in den Stromkreis einzuschalten und also die Stahlelektroden nicht gegen diesen zu isolieren. Die Stromzuführung zu den Kohlenelektroden und zum Ofengehäuse findet in diesem Falle von zwei gegenüberliegenden Seiten statt. Mit dieser Änderung soll eine gleichmäßige Erwärmung und bessere Bewegung des Bades und eine gleichmäßige Bestrahlung und Erhitzung des Gewölbes und der Herdwandung erreicht werden, wodurch sich wieder eine bessere Haltbarkeit ergibt. Die Stromersparnis an dem Ofen der Guten-Hoffnungs-Hütte soll 10 % gegenüber der früheren Ausführungsart ergeben haben. Infolge der gleichmäßigen Erhitzung wurde ein sehr homogenes Produkt erhalten. Das Einschmelzen von kaltem Schrot ging sehr ruhig vor sich. Stromunterbrechungen fanden kaum statt und war die Abnutzung der Elektroden daher auch eine

[1]) D. R. P. Nr. 229 350 vom Jahre 1910.
[2]) D. R. P. Nr. 232 074.

gleichmäßige[1]). Nach Müller sollen vom Dolomitherd 1000 Chargen ohne Betriebsstörung ertragen worden sein; er gibt dem Herde eine unbegrenzte Lebensdauer. Der besprochene Ofen wird zur Nachraffination von flüssigem Martineisen verwendet.

Der Girod-Ofen kann heute mit beliebiger Stromgattung betrieben werden. Fig. 129 stellt einen für Drehstrom eingerichteten Girod-Ofen dar[2]).

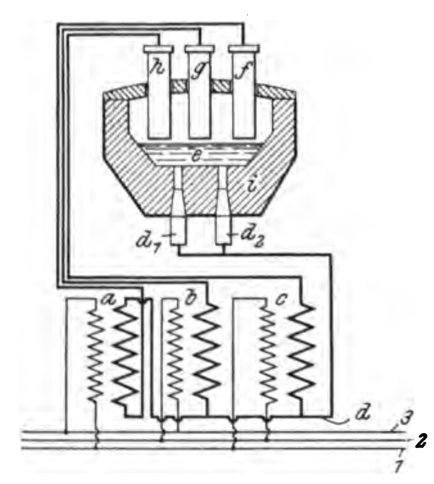


Fig. 129. Girod.

In dieser sind 1, 2, 3 die drei Phasen des Hochspannungsnetzes, a, b, c die drei Einphasentransformatoren, die primär in Dreieckschaltung mit der Hochspannung, sekundär einerseits mit je einer Kohlenelektrode, andrerseits mit den im leitenden Herde eingebauten Bodenelektroden $d_1$ und $d_2$ verbunden sind.

Über die Fortschritte des Héroult-Verfahrens berichtete Héroult selbst auf dem Internationalen Kongreß für angewandte Chemie, New York 1912. Der Héroult-Stahl wird in Amerika nicht nur als Spezialstahl, sondern auch in ausgedehntem Maße als Schienenmaterial, für Eisenbahnen und für Stahlguß mit Erfolg verwendet. Manche Stahlsorten mit niedrigem Kohlenstoffgehalt brauchen auch dort nicht ausgeglüht zu werden, wo Tiegelstahl dies unbedingt erfordern würde. Es wird Schrot verschiedenster Zusammensetzung bei der Erzeugung eingeschmolzen. Zum Einschmelzen von Stahlschrot benötigt man heute 600 KWst., während früher 750 nötig waren.

In den Illinois Steel Works in Süd-Chikago ist ein 15-t-Héroult-Ofen in Betrieb, der im Konverter vorgefrischtes Material hauptsächlich für Schienen, Achsen und Stahlgußstücke verarbeitet[3]). Dieser Ofen wird mit 2000 Amp. Drehstrom betrieben und soll einen Leistungsfaktor von 80% erreichen.

Nach Walker hat der amerikanische Elektrostahl bei gleicher Festigkeit größere Dehnung als andere Stahlsorten. In den Eisen-

---

[1]) Stahl und Eisen 1911, S. 1165: Müller, Erfahrungen in der Elektrostahlerzeugung im Girod-Ofen.

[2]) Kunze, Beitrag zur Entwicklung neuzeitlicher Elektroöfen. Stahl und Eisen 1912, S. 2047.

[3]) Siehe auch Iron Age 1913, S. 1279.

werken in Ferlach und Rottenmann wurde versucht, aus Schrot allein Weicheisen für Drähte und Blech zu erzeugen. Hierbei wurde sehr großer Abbrand erhalten. Bei 10 % flüssigem Roheisenzusatz fiel der Abbrand auf 8—12 % herab. Der Stromverbrauch soll in Ferlach 684, in Rottenmann 700 bis 800 KWst., der Konsum an Elektrodenkohle 14,5 bzw. 9 bis 11 kg, die Chargendauer in Ferlach 1 Stunde pro 1 t betragen. Das Verfahren wird heute mit bestem Erfolge angewendet.

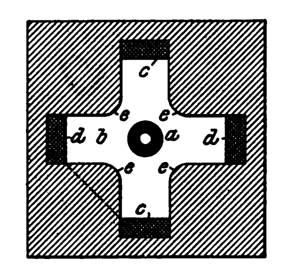


Fig. 130. Deutsche Quarzgesellschaft.
a Tiegel,
b kreuzförmiger Heizraum,
c, d Elektroden.
e Vorsprung des Ofeninnern.

Einen Ofen kreuzförmiger Gestalt konstruierte die Deutsche Quarz-Gesellschaft in Beuel bei Bonn am Rhein[1]). Der eigentliche Schmelzraum bzw. Tiegel lag in der Mitte, während die das Kreuz bildenden seitlichen Erweiterungen mit kleinen Stücken Widerstandsmasse angefüllt wurden. Das Tiegelmaterial war leitend, die Elektroden waren an den Enden der Erweiterungen des Ofeninneren angebracht. Die Tiegelwandung war mit einem Leiter des Drehstromsystems, je zwei gegenüberliegende Elektroden mit den andern beiden Leitern verbunden. Der Stromübergang fand daher kreuzförmig und am Umfang des kreuzförmigen Heizraumes statt.

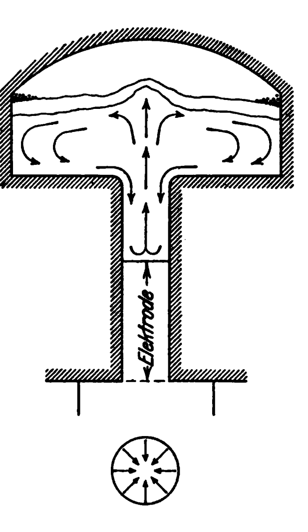


Fig. 132. Hering.

Metzger[2]) hingegen teilt seinen elektrischen Lichtbogenofen in 3 Schmelzräume, von welchen jeder eine Elektrode oberhalb des Bades erhält. Die Herde sind durch Zwischenwände voneinander getrennt, welche unten am Boden Öffnungen erhalten, die mit fester Widerstandsmasse ausgefüllt werden. Es besteht daher eine elektrische leitende Verbindung der Schmelzräume in der Tiefe des Bades, so daß der Strom auch die tiefsten Teile direkt beheizen muß.

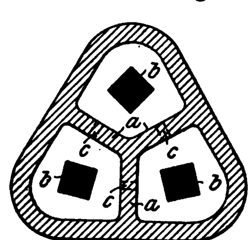


Fig. 131. Metzger.
a Zwischenwand,
b Lichtbogenelektroden,
c Öffnungen mit Widerstandsmasse ausgefüllt.

[1]) D. R. P. Nr. 233 274 von 1908.
[2]) D. R. P. Nr. 235 093 von 1909.

Um den Elektrodenverschleiß abzuschaffen, will Hering[1]) unter Benutzung des Pinch-Effektes den Ofen mit Vertiefungen versehen, in deren Grund die Elektroden (gewöhnlich 2 oder 3) angebracht sind. Es gibt dies eine sehr einfache Ofenkonstruktion, welche mit niedergespanntem, aber starkem Strom versorgt werden soll (Fig. 132).

Petersson[2]) will die Lichtbogenbildung vermeiden und das Beschickungsmaterial selbst als Widerstand benutzen, indem er dasselbe durch irgendeine Vorrichtung, z. B. einen von der Seite wirkenden Kolben, an die Elektroden anschiebt, damit es an diesen gut anliege.

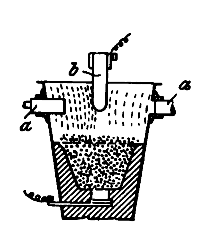



Fig. 133. Petersson.
a Druckkolben,
b Elektroden.

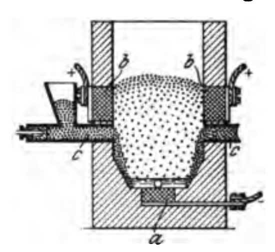



Fig. 134. Petersson.
a, b Elektroden,
c Beschickungsöffnungen.

Petersson hat schon ein Jahr früher ein Patent angemeldet[3]), betreffend ein Verfahren zur Beschickung von elektrischen Widerstandsöfen mit in der Seite oder dem Boden vorgesehenen Elektroden. Er wollte Öffnungen an jenen Stellen der Ofenwandung anbringen, welche durch Leitendwerden Energieverluste geben können, und durch diese soviel Beschickungsmaterial einführen, daß die Wände genügend kühl bleiben und der Strom durch die Beschickung geht (Fig. 134). Der neue Ofen dient der Verfolgung des gleichen Zweckes.

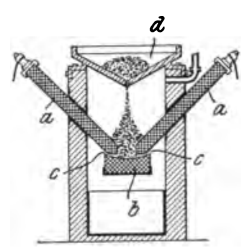



Fig. 135. Reid.
a Elektroden,
b Bodenelektrode,
c Austrittsspalte,
d Beschickungstrichter.

Eine eigenartige Ofenform ist jene von Reid[4]), bei welcher der Ofen durch einen Trichter bildende, schräg liegende Elektroden, die der ganzen Länge des Ofens nach verlaufen und durch eine ausgehöhlte Bodenelektrode, alle aus Kohle, gebildet werden soll. Zwischen den Seiten- und der Bodenelektrode ist ein schmaler Spalt frei, durch den nur dünnflüssiges Erzeugnis abfließen kann. Der Strom soll hier von den Seitenelektroden durch das im Trichter liegende Beschickungs-

[1]) Stahl und Eisen 1911, S. 1151.
[2]) D. R. P. Nr. 238 976 von 1910.
[3]) D. R. P. Nr. 223 509 von 1909.
[4]) D. R. P. Nr. 238 974 von 1910.

material zum Boden treten und Lichtbogen bilden[1]). Der Ofen soll offenbar auch zur Roheisenerzeugung aus Erzen dienen.

Die drei schwedischen Elektroofenkonstrukteure Grönwall, Lindblad und Stalhane haben einen dem Héroult-Ofen der Gestalt nach ähnlichen Ofen erdacht, welcher aber von diesem durch die Stromzuführung wesentlich verschieden ist. Er besitzt zwei Kohlenelektroden

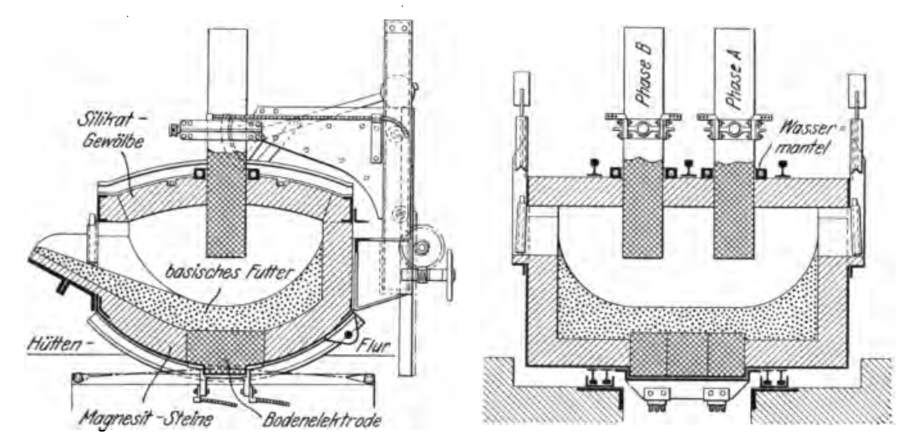



Fig. 136 und 137. Grönwall.

oberhalb des Bades und eine solche, welche in der Herdsohle eingebaut ist. Letztere ist mit dem Herde, welcher aus Magnesitstein besteht, in leitender Verbindung und ist die ganze Sohle mit aufgestampftem Dolomit überdeckt. Die oberen Elektroden sind mit den Zuleitungen eines Zweiphasenwechselstromnetzes verbunden; die Ableitung erfolgt durch die Bodenelektrode. Es entstehen so zwei voneinander unabhängige Lichtbogen. Wenn einer abreißt, so bleibt der andere bestehen und wird der Stromstoß auf die Hälfte herabgemindert. Es soll eine gute Durchmischung des Bades und gleichmäßige Erhitzung stattfinden, da auch der ganze Herdboden mit erhitzt und dabei stromleitend wird. Kalte Stellen im Bade werden also vermieden. Ein solcher Ofen ist in Sheffield aufgestellt worden[2]).

Ein Patent der Phönix-A.-G. für Bergbau und Hüttenbetrieb in Hörde[3]) bezieht sich auf die Schaltung von Mehrphasenstrom bei Elektrodenöfen, welche obere und Bodenelektroden besitzen. Die oberen Kohlenelektroden sollen größere, die Boden-

[1]) Wenn der Spalt so eng ist, dürfte der Strom wohl direkt zu der Bodenelektrode übergehen und nur den kleinsten Teil der Beschickung durchstreichen.

[2]) System Elektrometall genannt.

[3]) D. R. P. Nr. 249 081 von 1909.

elektroden geringere Spannung erhalten, und soll der Nullpunkt des Systems in das Schmelzbad verlegt werden[1]).

Der Stassanosche Ofen fand eine kleine, die Prinzipien der Konstruktion nicht berührende Änderung dadurch, daß das Kühlwasser der Elektroden gleichzeitig als hydraulische Antriebsvorrichtung für die Elektrodenregulierung verwendet wird[2]); eine Idee, welche selbstverständlich bei jedem Elektrodenofen verwendet werden kann.

Eine andere Änderung Stassanos ist die, den Ofen mit einer sogenannten kardanischen Aufhängung zu versehen[3]). Der Herd ist

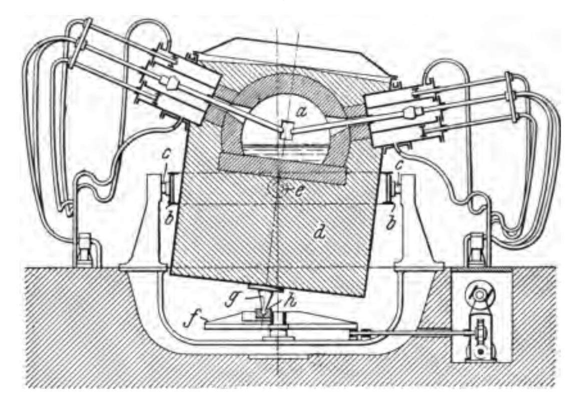



Fig. 138. Stassano.

*a* Schmelzkammer, *b* Tragring, *c* Zapfen, *d* eigentlicher Ofen, *e* Zapfenlager, *f* sich drehende Scheibe, *g* Zapfen, *h* Vertiefungen der Scheibe.

in einem horizontalen Ring drehbar gelagert, welcher selbst wieder eine auf der Drehachse des Herdes normale horizontale Drehachse besitzt. Dabei stützt sich der Herd mittels Kugelzapfens auf eine unterhalb befindliche Drehscheibe, auf welcher der Stützpunkt exzentrisch angebracht ist. Es findet so beim Drehen der Scheibe ein ständiges Schwingen und Drehen des Herdes statt, wodurch die Durchmischung des Bades gefördert wird. Die Elektroden bewegen sich mit dem ganzen Ofen mit. Ein Exemplar dieser Ausführungsart wurde in Dunston on Tyne in Betrieb gesetzt. Eine Vereinfachung dieser Aufhängevorrichtung, mit welcher eine gleiche Beweglichkeit des Ofens erreicht werden soll, wurde später patentiert[4]). Es wird der Ofen nicht in seit-

---

[1]) Die Phönix-A.-G. hat mit den westdeutschen Thomasphosphatwerken ein Abkommen getroffen, demzufolge die beiden Gewerkschaften ihre Patente gegenseitig nach Belieben benützen dürfen.

[2]) D. R. P. Nr. 247 435 von 1911.

[3]) D. R. P. Nr. 252 173 von 1911.

[4]) D. R. P. Nr. 259 585 von 1912.

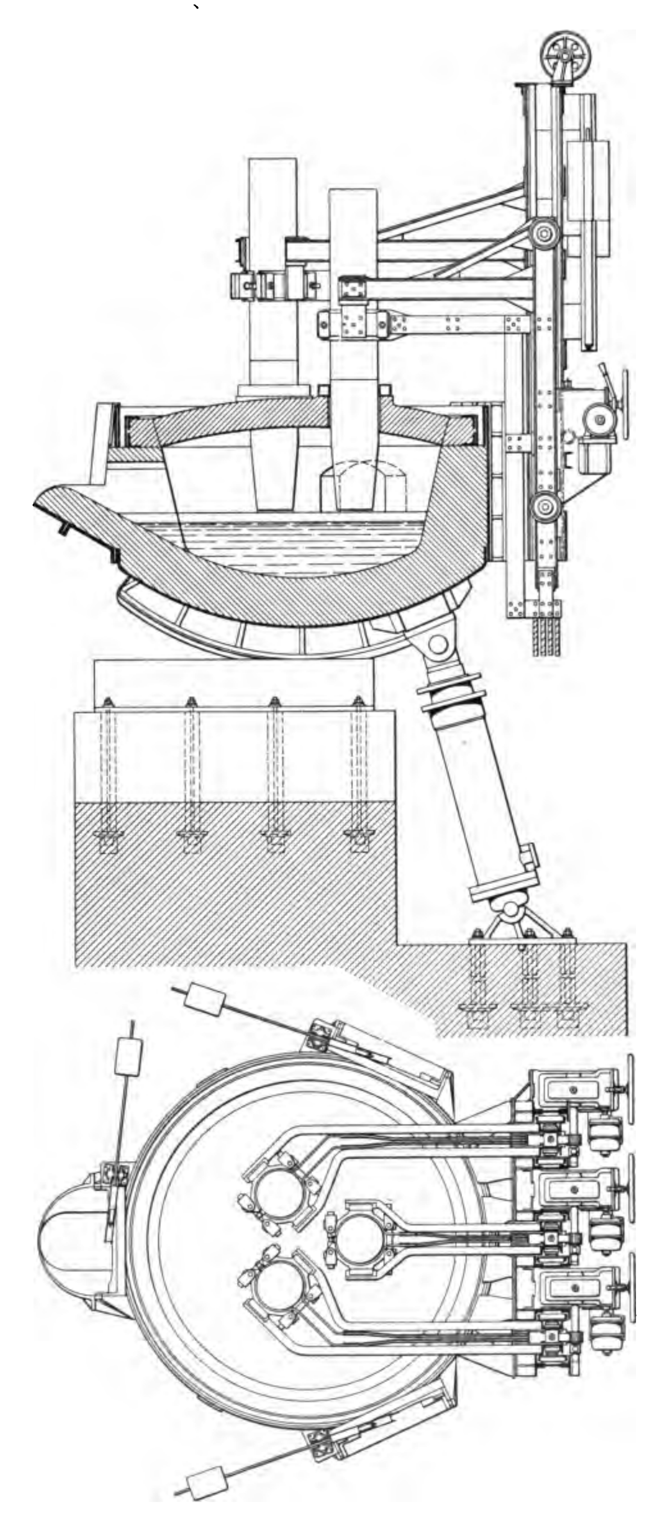


Fig. 139 und 140. Héroult-Lindenberg.

lichen Lagern, sondern an einem Balken oberhalb des Ofens aufgehängt und unten wie beim ersten Patente mittels Kugelzapfens gestützt.

Die Bonner Maschinenfabrik Mönkemöller-G. m. b. H. in Bonn a. Rhein baut „Lichtbogenstrahlungsöfen", ähnlich dem System Stassano. Bei diesen Öfen ist jedoch die Drehbarkeit fortgelassen. Der Bonner Ofen steht also während des Schmelzens fest und wird nur beim Abstich bzw. Schlackenabzug nach der einen oder andern Seite gekippt.

Diese Kippbarkeit und die genaue Einstellung des Lichtbogens durch eine besondere Regulierung der Elektroden sind nach Mitteilung der Bonner Maschinenfabrik die wesentlichsten Unterschiede zwischen dem Bonner Ofen und der Type Stassano.

Das Prinzip der separaten Elektrodenaufhängung wurde beim Drehstromofen Bauart Héroult-Lindenberg befolgt. Ein solcher für 10 t größten Einsatz soll auf der Gewerkschaft Deutscher Kaiser in Betrieb gekommen sein[1]). DerHerd ist selbstverständlich nach Herausziehen der Elektroden kippbar. Betreffs des Héroult-Ofens wird berichtet, daß man auch schon Öfen mit 1 t Einsatz für Drehstrom bauen kann. Ein solcher benötigt zur Raffination von flüssigem Stahleinsatz 400 KWst. pro Tonne; ein 6—7-t-Ofen hingegen benötigt nur 200 KWst. pro Tonne; ein 20-t-Ofen hingegen benötigt nur 170 KWst. pro Tonne fertigen Produktes, woraus der Einfluß der Ofengröße auf den Energieverbrauch zu ersehen ist (Fig. 139 u. 140).

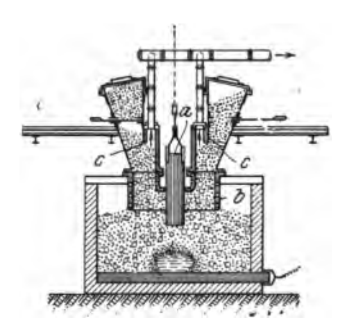


Fig. 141. Bosnische Elektrizitäts-Gesellschaft.
*a* Elektrode,
*b* Beschickungsschacht,
*c* Scheidewand.

Einen neuen Elektrodenofen, welcher aber vornehmlich für die Karbiderzeugung bestimmt sein dürfte, versuchte die Bosnische Elektrizitäts-Aktiengesellschaft[2]). Sie versah ihn mit einem die vertikalen Elektroden umgebenden Beschickungsschacht, durch welchen auch die Gasableitung erfolgen soll. Die Bodenelektroden sind horizontal einschiebbar.

Die Westdeutschen Thomasphosphatwerke wollten kombinierte Lichtbogen- und Widerstandsöfen so einrichten[3]), daß auch

---

[1]) Diese Änderung stammt von dem Stahlwerk Richard Lindenberg A.-G. in Remscheid-Hasten. Die bestehenden Héroultöfen sollen heute fast durchweg nach Bauart Héroult-Lindenberg ergänzt, die neuen nach dieser konstruiert worden sein.

[2]) D. R. P. Nr. 249 096 von 1910.

[3]) D. R. P. Nr. 257 048 von 1908.

bei Öfen, in welchen Elektroden in Vertiefungen des Bodens eingesetzt sind, zeitweise ein Ausschalten der oberhalb des Bades befindlichen Kohlenelektroden stattfindet und dann die Bodenelektroden unter Herabsetzung der Spannung direkt mit der Stromquelle verbunden werden. Das Verfahren bietet nicht viel Neues. Es schließt sich eng an die Ideen von Nathusius an.

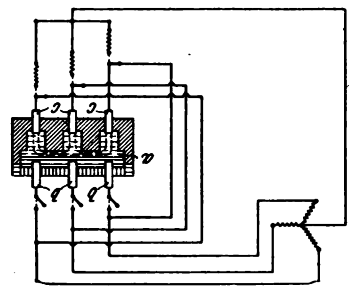


Fig. 142. Westdeutsche Thomasphosphatwerke.

Einen Entwurf, welcher einem der Gin-Öfen ähnlich ist, machte Appel (Johnstown) zu dem Zwecke, um Elektrodenkohle zu sparen und einen besseren Leistungsfaktor zu erhalten, als ihn die Induktionsöfen liefern[1]). Sein Ofen soll der Nachraffination von flüssigem Martinstahl dienen. Er besteht aus

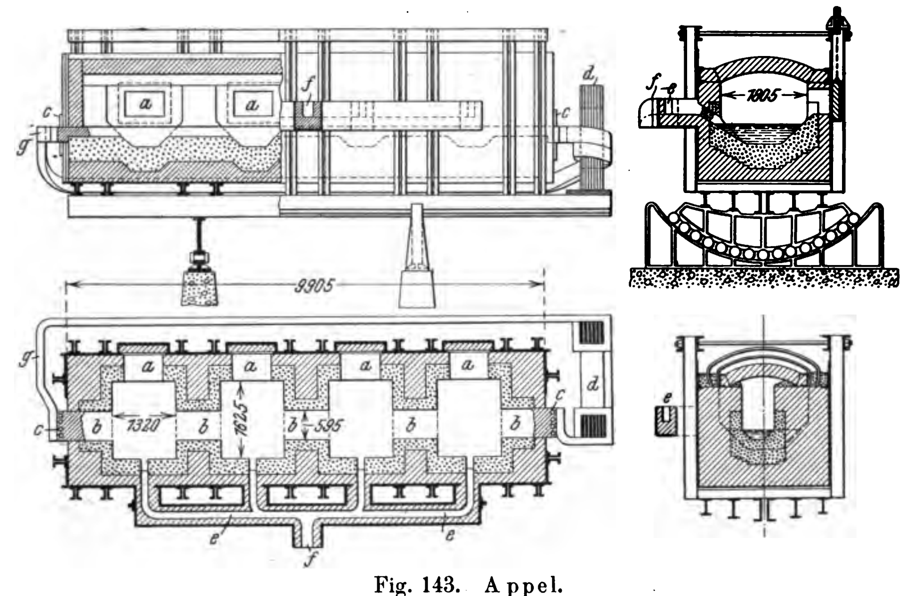



Fig. 143. Appel.

*a* Arbeitstüren, *b* Heizstellen, *c* Wasserkühlung, *d* Transformatorkern, *e* Abflußrinne, *f* Abstichrinne, Transformatoren-Leitungen.

4 Herden (Tiegel), welche nebeneinandergereiht durch kurze Kanäle miteinander in Verbindung stehen und einen einzigen Ofenkörper bilden. An den ersten und letzten Herd schließt nochmals je ein

[1]) The Iron Trade Review 1913, S. 413. Electric Crucible Furnace for Refining Steel.

Kanal an, an dessen Ende sich je ein wassergekühlter Stahlpol befindet, der die Verbindung mit dem sekundären Strom eines mit dem Ofen fest verbundenen Transformators herstellt. Der ganze Ofen mitsamt dem Transformator ist kippbar. Die Kanäle sind parallel zur Mittellinie des Ofens, jedoch nicht mit dieser zusammenfallend, ausgespart und können so durch Neigen des Ofens mehr oder weniger mit flüssigem Metall gefüllt werden. Dadurch soll ein verschieden großer Widerstand und verschieden starke Erhitzung, also eine Regelung der letzteren, möglich sein. Der Berichterstatter von Stahl und Eisen hält es allerdings für fraglich, ob bei diesem Ofen überhaupt die nötige Hitze im Metallbade erhalten werden kann[1]).

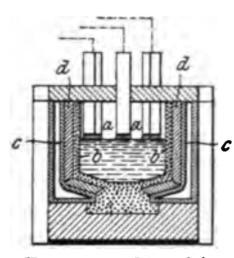


Fig. 144. Härdén.
a Elektroden und Flammenbogen,
b Polplatten,
c Metallplatte,
d Zwischenschicht von mittlerer Leitfähigkeit.

Härdén[2]) stellt einen Ofen mit Elektroden aus festen Leitern zweiter Klasse her. Polplatten von hohem elektrischen Widerstande liegen in den Wandungen des Ofens, an diese schließt sich nach außen eine Schichte aus Kohle oder Graphit und an diese Metallplatten an; wobei die Kohlenschichte als Wärmeisolation dient, um die Metallplatten vor zu starker Erhitzung zu schützen. Diese sind mit der Stromquelle verbunden. Es entsteht so eine Lichtbogenerhitzung von oben aus und Widerstandserhitzung von der Wandung des Ofens her.

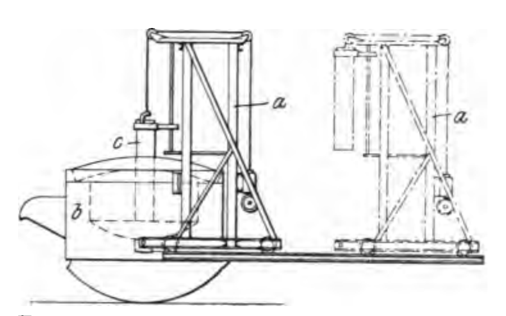


Fig. 145. Jossingfjord Manufacturing Co.
a Elektrodengestell, b Kippofen, c Elektroden.

Die Jossingfjord Manufacturing Co. in Norwegen will nach Belieben die Elektroden mit dem Ofengestell fest verbinden oder von ihm trennen, damit die Elektroden mit dem Herde gekippt oder auch separat behandelt werden können. Sie werden daher von einem fahrbaren Gestell getragen, welches mit dem Ofenkörper verzwängt werden kann[3]).

Die Laboratoriumsversuche Boudouards mit einem kleinen zylindrischen Lichtbogenofen zur Stahlraffination dürften für die

[1]) Stahl und Eisen 1913, S. 1574.
[2]) D. R. P. Nr. 251 207 von 1910.
[3]) D. R. P. Nr. 259 303 von 1912.

Praxis wenig Wert haben. Er hatte im Boden eine Graphitelektrode und oben eine Kohlenelektrode angebracht.

Die Stobie Steel Co. in Sheffield hat Öfen neuester Art gebaut[1]) und praktisch erprobt, welche von Viktor Stobie auf Grund langjähriger, praktischer Erfahrungen entworfen wurden. Der Stobie-Ofen ist ein kippbarer Elektrodenofen mit automatischer Stromregulierung und einer Hilfsheizung mittels Öl oder Gas[3]). Letztere wird insbesondere nach einer Betriebsunterbrechung, z. B. der sonntägigen Feiertagsschicht, dazu benutzt, um den Ofen anzuheizen und die Beschickung vorzuwärmen[2]). In Gegenden, in welchen das Leuchtgas billig ist, können auf diese Weise die Kosten des Anheizens bedeutend vermindert werden; Stobie will sie auf ein Viertel jener beim Anheizen mittels des elektrischen Stromes bringen. Auch sollen im Ofen gebliebene Reste von fertigem Produkt bei der Gasheizung weniger verändert werden als durch den elektrischen Strom. (?)

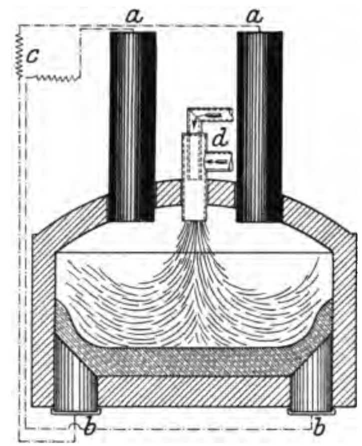


Fig. 146. Stobie-Ofen mit Gas-Hilfsheizung.

Bei den Stobie-Öfen befinden sich alle Elektrodenhalter, Kontrollapparate und Instrumente abseits von der Hitze und dem Staube des Ofens; sie werden an irgendeiner zweckentsprechenden Stelle der Schmelzhalle oder in einem eigenen Raume untergebracht. Jede beliebige Elektrode kann mitsamt dem Elektrodenhalter und dem Zuleitungsdraht ausgeschaltet und von dem Ofen rasch abgenommen werden.

In den Stobie-Werken zu Sheffield in England sind ein 15-t-Ofen für Dreiphasenstrom, ein 5-t-Ofen für Zweiphasenstrom und ein 300-kg-Ofen für Einphasenstrom in Betrieb. Die beiden ersteren dienen für die Stahlerzeugung, der dritte für die Herstellung von Eisen-Legierungen[3]).

---

[1]) Siehe auch The Iron Age 1912, S. 994.

[2]) Einer ähnlichen Idee entsprang 1902 der wenig genannte Ofen von Neuburger-Minet, welcher nach Belieben mit Gas oder Elektrizität geheizt werden konnte. Beide Heizungen waren vorgesehen. Siehe Neumann, Elektrometallurgie S. 41.

[3]) Mr. Victor Stobie teilt über seine Werke und Öfen folgendes mit:
„The works are the first all Electric Steel Works in Great Britain and are remarkable in that they are all of British design and construction.“
Und weiter:

Der Stobie-Ofen ist in England zu hervorragender Bedeutung gelangt und hat Stobie auch für den Kontinent mehrere Entwürfe von Elektrostahl-Anlagen nach seinem System gemacht.

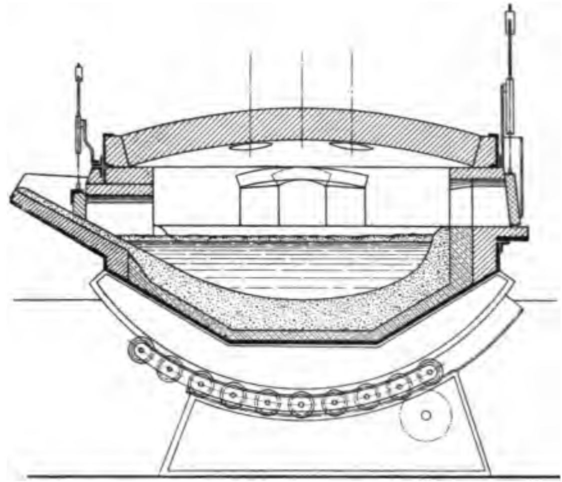


Fig. 147. Stobie.

Der Erfinder hoffte, daß zu Ende des Jahres 1913 50 % der englischen Elektroeisen-Erzeugung mit seinem Ofen-System durchgeführt werden würden. Es wären dies ungefähr 60000 t jährliche Erzeugungsmenge.

Die Fig. 147 und 148 zeigen Stobie-Öfen in Längs- und Querschnitt. Die Herde haben meist drei Arbeits- und Einwurfsöffnungen. Sie

---

„The total capacity of electric steel furnaces in Great Britain (all of which are in England) will at the end of the year be 60 000 tons annually based on cold charges or 150 000 tons based on molten charges. Over 50 per cent will be Stobie Patent Furnaces.

The progress which the Stobie furnaces are making is largly due to the fact that in every case I gave the following guarantees:

1. Melting loss on cold charges not to exceed 5%.
2. Yield on Ingots into Billets over 92½%.
3. Freedom from lining troubles (a costly matter with some furnaces).
4. Freedom from electrical breakdowns originating from the design or normal working of the furnace.
5. Absolute control of the metallurgical functions of the installation.

A few of the improvements in my furnaces over others are:

All electrode hoists, controllers and instruments are right away from the heat and dust of the furnace. They can be placed in any convenient position in the melting shop or in a special room.

Any electrode, together with all the electrode holder and full connections, can be disconnected and removed from the furnace in less than four minutes, enabling a spare set to be placed in position without the workmen having to mount on the top of the hot furnace. This is a feature not figuring in any design

arbeiten mit Oberflächenelektroden aus Kohle, welche sehr einfach und praktisch aufgehängt sind und mit seitlich schief in den Herdboden eingelegten eisernen Polen mit großen Stromübergangsflächen zu den das Herdinnere auskleidenden Leitern zweiten Grades.

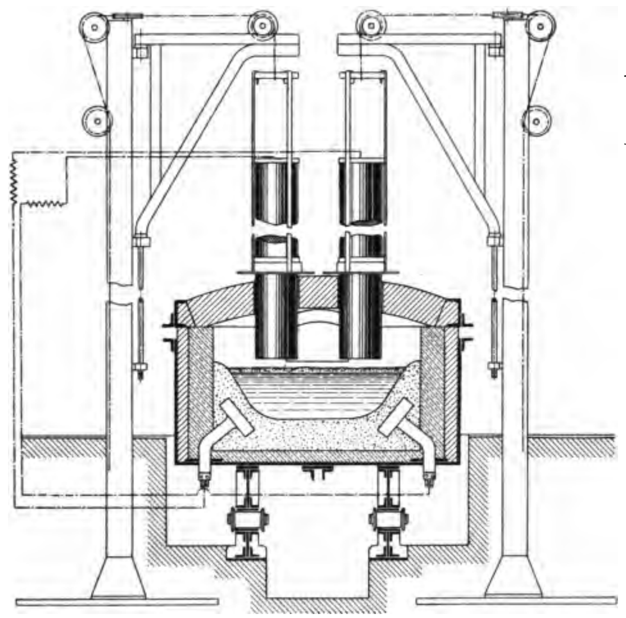


Fig. 148. Stobie.

Härdén und Hoult wollten Frischöfen mit einer elektrischen Hilfsheizung versehen. Während Conrad den Martinofen vor Augen hatte, dachten diese beiden vornehmlich an den Konverter.

---

and is a provision against the only eventuality which need be present in an electrically worked installation. Just as a stock of pots prevents a crucible furnace being shut down by a temporary shortage of clay so this important improvement totally prevents the shutting down of the electric furnace as a result of electrode faults.

Another unique feature in my designs is the combination with the furnace of an oil or town gas burner so that the furnace lining may be burnt in and fettled like an open-hearth furnace. This burner is also used for uniformly heating up the furnace after week end and other stoppages and for preheating the steel. In a town where gas is fairly cheap it costs less than one quarter of the price of electricity to heat up the furnace after week-end stoppages, also warming up electrically also results in disturbing the analysis of the first charge, as the presence of coke for that purpose is eliminated thereby. The preheating of the charge to redness by means of oil or gas before switching on the current reduces the current consumption considerably as that portion of the process is the least efficient in an electric furnace."

Härdén[1]) speziell wollte hohle gekühlte Stahlelektroden in die Ofenwandung einbauen, welche durch leitendes feuerfestes Material vor dem Angriffe des Eisenbades geschützt sind. Die elektrische Heizung sollte insbesondere während der Entschwefelung und zwecks Wiedererwärmung nach der Entgasungsperiode in Funktion treten. Hoult hingegen suchte einen kleinen Konverter mit einem Lichtbogenofen zu vereinigen[2]).

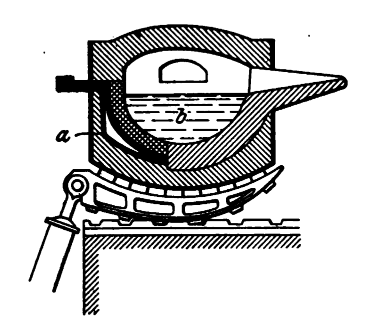



Fig. 149. Härdén.
**a Elektrode aus Stahlguß, b Schmelzbad.**

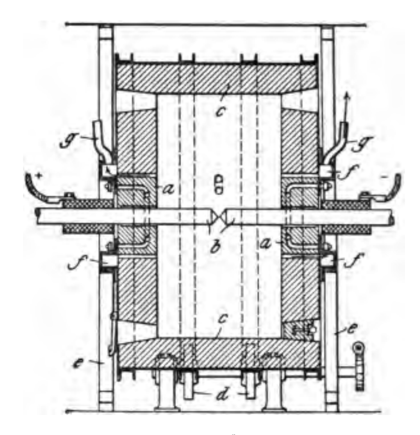



Fig. 150. Imbert.
**a gekühlter Elektrodenhalter, b Elektroden, c trommelartiger Ofen, d Rollen, e Tragböcke, f ringförmige Rinne g Gasabführungsrohr.**

Trommelartige Ofenkörper mit horizontaler, mit der Zylinderachse zusammenfallender Drehachse konstruierten Imbert und v. Schatzl-Krieger. Bei Imberts Tiegelschmelzofen[3]) sind die Elektroden in der Drehachse gelegen. Die Trommel ruht drehbar auf vier Rollen. Die Elektrodenhalter sind mit einer ringförmigen Rinne fest verbunden, welche zur Lagerung der Halter und zur Sammlung der Abgase dient. Letztere können von dieser Rinne aus abgeleitet werden.

Der Schatzlsche Ofen besitzt ebenfalls eine Trommel, bzw. einen Ring mit horizontalem Zylinder und horizontaler Drehachse, wobei die Trommel auf Rollen drehbar gelagert werden kann. Der Umfang des trommelartigen Ringes ist jedoch in mehrere Herde eingeteilt. In diesen Herdring kann ein Hohlkörper eingeschoben werden, welcher die Decke ersetzt und durch welchen die Kohlenelektroden eingeführt werden. Im Herdring sind Bodenelektroden angebracht. Über diesen Ofen wird am Schlusse speziell berichtet werden[4]). Der-

[1]) Britisches Patent 3739 von 1910.
[2]) Iron Trade Revue 1913, S. 747.
[3]) D. R. P. 219 515.
[4]) Siehe auch Schatzl von Mühlfort, Elektroeisen 1912.

selbe ist deshalb von besonderem Interesse, weil er die Vorzüge des Héroult-, Girod- und Stassano-Ofens vereinigt, ohne der Originalität zu entbehren.

Die Induktionsöfen fanden in der letzten Periode große Beachtung. Der verbreitetste blieb jener von Röchling-Rodenhauser.

Skaredoff schreibt mit Bezug auf diesen Ofen[1]):

„1. Induktionsöfen arbeiten nur bei großen Chargen (etwa 8 t) ökonomisch.

2. Die kleinen Induktionsöfen stehen hinter den Lichtbogenöfen desselben Inhaltes zurück. Der Energieverbrauch eines Röchling-Rodenhauser-Ofens von 2 t beträgt bei flüssigem Einsatz etwa 900 KWst. für 1 t Stahl, während jener eines 2-t-Lichtbogenofens etwa 300 bei flüssigem und nur bei kaltem Einsatz 900 KWst. ausmacht.

3. Die Ausmauerung der Induktionsöfen ist nicht dauerhaft, was durch die normale Lage der Ofenwand und durch die Unmöglichkeit der Reparatur der letzteren während des Schmelzens zu erklären ist. Die schnelle Abnutzung der Ausmauerung hängt auch davon ab, daß die Schlacke nicht regelmäßig auf der Oberfläche des Metallbades verteilt ist. Die Schlacke sammelt sich immer an den Wänden, weil das Niveau des Metalls kein ebenes ist, sondern unter der Wirkung der elektromotorischen Kraft eine komplizierte Oberfläche darstellt. In der Mitte des Metallbades beobachtet man ein Herumdrehen des Metalls, was auch die Abnutzung der Ausmauerung beschleunigt.

4. Die Entkohlung des Metalls geht langsam vor sich, das Erz frißt die Ausmauerung. Deshalb muß die Benutzung des flüssigen Roheisens die Arbeit erschweren.

5. Schwefel und Phophor sind leicht zu entfernen.

6. Der Siliziumgehalt ist oft bedeutend größer, als für viele Stahl sorten zulässig ist.

7. Die Vorzüge der Drehstrom-Induktionsöfen sind die Möglichkeit der Benutzung des normalen Stromes von 50 Perioden und die Abwesenheit der Schwankungen des Stromes während des Schmelzens. Bei der Bewertung der Systeme der Lichtbogenöfen sind die Periodenzahl und die Größe der Stromschwankungen von großer Bedeutung.

8. Bei der Verminderung der Stromstärke auf 20 % hört der Ofen auf zu arbeiten, das Metall erstarrt."

Diese Ausführungen deuten an, in welcher Richtung noch Verbesserungen der Induktionsöfen zu wünschen wären.

Zu Punkt 1 sei bemerkt, daß ein größerer Röchling-Rodenhauser-Ofen in Dommeldingen nach Bian bei flüssigem Einsatz nur 265 KWst. pro 1 t zum Nachfrischen von Martineisen benötigte. Bian berichtet

[1]) Stahl und Eisen 1910, S. 2203.

auch, daß die Wicklungen des Transformators mit Gebläseluft gekühlt werden, was sich ausgezeichnet bewährt.

Die Beschädigungen der Ofenausmauerung durch die Schlacke haben Röchling, Schönawa und Rodenhauser bewogen[1]), die Heizrinne vollständig abzudecken und keine Stege im Schmelzraum und den Rinnen zu belassen, damit die Schlacke überallhin ungehindert fließen kann und insbesondere die in die Heizrinne gelangende Schlacke keine Schwierigkeiten bei ihrer Entfernung gebe.

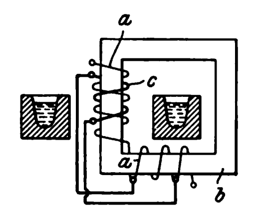



Fig 151. Grunwald.
*a* Primärwicklung,
*b* Transformatorjoch,
*c* Hilfswicklung.

Grunwald[2]) will das Schrägstellen der Badoberfläche dadurch beheben, daß er zwei Hilfswicklungen, eine über der Primärspule und eine am untern Träger des Transformatorringes, anbringt. Dadurch würde die Oberfläche horizontal gestellt und die Schlacke nicht mehr einseitig an das Mauerwerk getrieben werden.

Eine Idee, nach welcher die Oberflächengestalt des Bades in entgegengesetzter Richtung beeinflußt werden soll, stammt von Ziani de Ferranti[3]). Dieser will mit Absicht ein stark rotierendes Magnetfeld erzeugen, um die im flüssigen Metall eingeschlossene Schlacke und die Gase durch die Zentrifugalkraft herauszutreiben. Dabei bildet sich infolge der Rotation eine schalenartige Vertiefung in der Mitte des Bades, in welcher sich die Schlacke sammelt und von wo diese durch eine Öffnung im Boden nach Heben eines Verschlußpfropfens abgelassen werden kann. Hier wird die Schlacke ebenfalls die Herdwandung nicht angreifen können. De Ferrantis Ofen ist für Zwei oder Mehrphasenstrom gedacht und sollen Arbeitsöffnungen angebracht werden, durch welche Erze und Zuschlag sowie auch Gase und Winde zugeführt werden können.

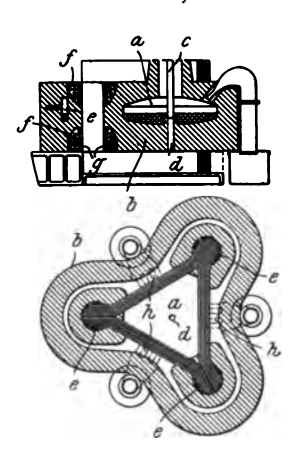



Fig. 152. de Ferranti.
*a* Metallbad,
*b* Induktionsofen,
*c* Propfen,
*d* Öffnung,
*e* Magnete,
*f* röhrenförmige Spulen,
*g* weitere Spulen,
*h* Winddüsen.

Andere Erfindungen änderten zum Teil auch die Gestalt des Ofens. So hat der elektrische Herdofen der Vereinigten chemisch-metallurgi-

[1]) D. R. P. Nr. 234 177 von 1909.
[2]) D. R. P. Nr. 227 395 und 228 257.
[3]) D. R. P. Nr. 233 733 und österreichisches Patent Nr. 46 581.

schen und metallographischen Laboratorien in Berlin[1]) einen Herd, von welchem nach abwärts ein bügelförmig gebogenes Rohr geht, welches die beiden Enden des Herdes miteinander verbindet. Um dieses Rohr herum geht der Transformatorring.

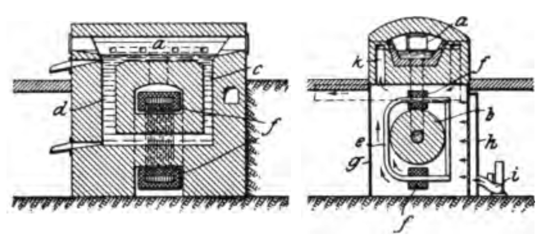



Fig. 153. Vereinigte chemisch-metallurgische und metallographische Laboratorien in Berlin.

*a* Herd,
*b* Induktionsrohr,
*c, d* Verbindungskanäle ungleichen Querschnitts,
*e* Eisenkern,
*f* Primärspule,
*g, h* Wand zwecks Luftabschluß,
*i* Ventilator,
*k* Luftkanäle.

Bei Eicherts Induktionsofen umgibt das Bad den Eisenkern. Das Magnetgestell ragt mit einem oder mehreren Kernstümpfen seitlich

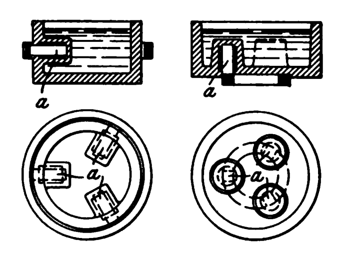



Fig. 154. Eichert.
*a* Kernstümpfe des Magnets.

oder vom Boden aus in das Schmelzbad hinein, wobei die Stümpfe natürlich vom Herdmaterial umkleidet werden. Dadurch soll ein geschlossener Herd ohne Unterbrechung der Badoberfläche erhalten werden.

Der Elektrostahlofen Bauart Hiorth[2]) ist jenem für Zweiphasenstrom von Röchling-Rodenhauser ähnlich. Er hat einen Schmelzherd und zwei Rinnen, welche die Transformatorschenkel umgeben.

---

[1]) D. R. P. 224877 von 1907. Im Besitze der Gesellschaft für Laboratoriumsbedarf Tolmacz & Co., Berlin.
[2]) Stahl und Eisen 1911, S. 405.

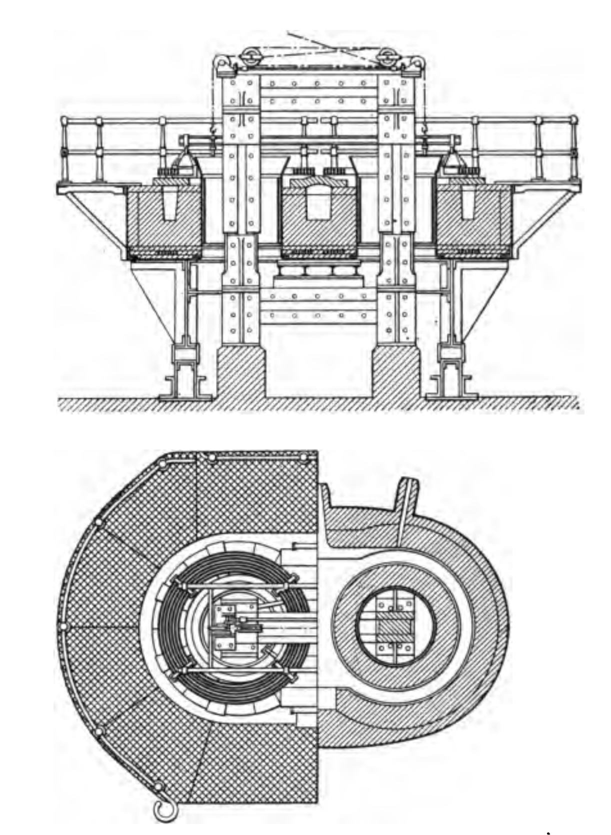


Fig. 155 und 156. Hiorth.

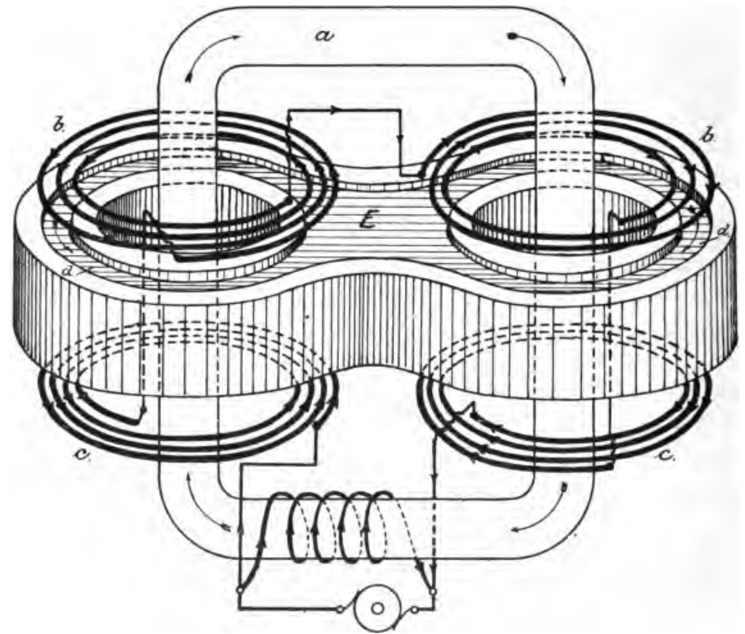


Fig. 157. Stromführung des 5-Tonnen Hiorth-Ofens in Jossingfjord. (Orignalzeichnung Hiorths).



Fig. 158. Ansicht des 5-Tonnen Hiorth-Ofens in Jossingfjord.

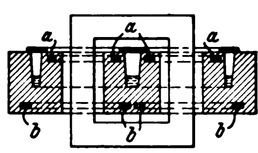


Fig. 159. Draufsicht auf den 5-Tonnen Hiorth-Ofen in Jossingfjord.

Die Wicklungen sind jedoch, ähnlich wie beim Frickschen Ofen, als flache Spulen ausgebildet, von welchem je zwei oberhalb und unterhalb des Bades angebracht sind. Ein solcher Ofen von 5 t Einsatz

wird in Jossingfjord in Sogndal zum Einschmelzen verwendet und soll sich bestens bewährt haben[1]).

Ein deutsches Patent dieses Metallurgen[2]) sieht einen solchen Ofen vor. Die scheibenförmigen Spulen oberhalb des Bades haben jedoch einen kleineren Durchmesser als jene unterhalb desselben, wodurch die Badoberfläche besser zugänglich wird.



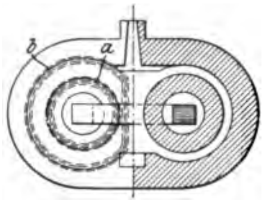




Fig. 160. Hiorth.
a, b Primärspulen.

Der Ofen von Soderberg[3]) unterscheidet sich von diesem Hiorthschen Ofen dadurch, daß der Herd durch eine Brücke in zwei breite Kanäle geteilt wird, welche allerdings außerhalb der Brücke miteinander in Verbindung sind.

Diese Öfen wurden wieder zu Drei-Phasenstrom-Öfen weiterentwickelt, wie Hiorth in der American Electrochemical Society im September 1911 berichtete. Sie erhielten nun drei Rinnen, wie nebenstehende Abbildung lehrt[4]). Unger regte sogar eine Verbindung von vier bis sechs Ringen zu einem Hiorth-Ofen an.

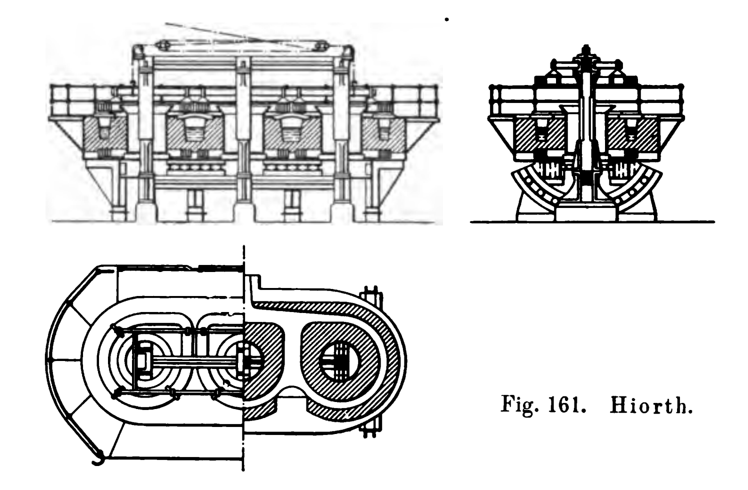


Fig. 161. Hiorth.

---

[1]) Hiorth, Some remarks on iron Smelting, 1912. Hiorth, Induction furnace and its use in the manufacture of steel. American foundrymen's association 1911, S. 157.

[2]) D. R. P. 261 698 von 1913.

[3]) The Iron Age 1910, S. 1206. Stahl und Eisen 1911, S. 405.

[4]) Hiorth, Design of a 30-ton induction electric furnace. Transactions of the american electrochemical society, volume XX, 1911.

**Über einen Doppelring- (Doppelrinnen-) Ofen mit zwei flachen und einer röhrenförmigen Spule bei jeder Rinne berichtete Frick vor dem Iron and Steel Institute[1]).**

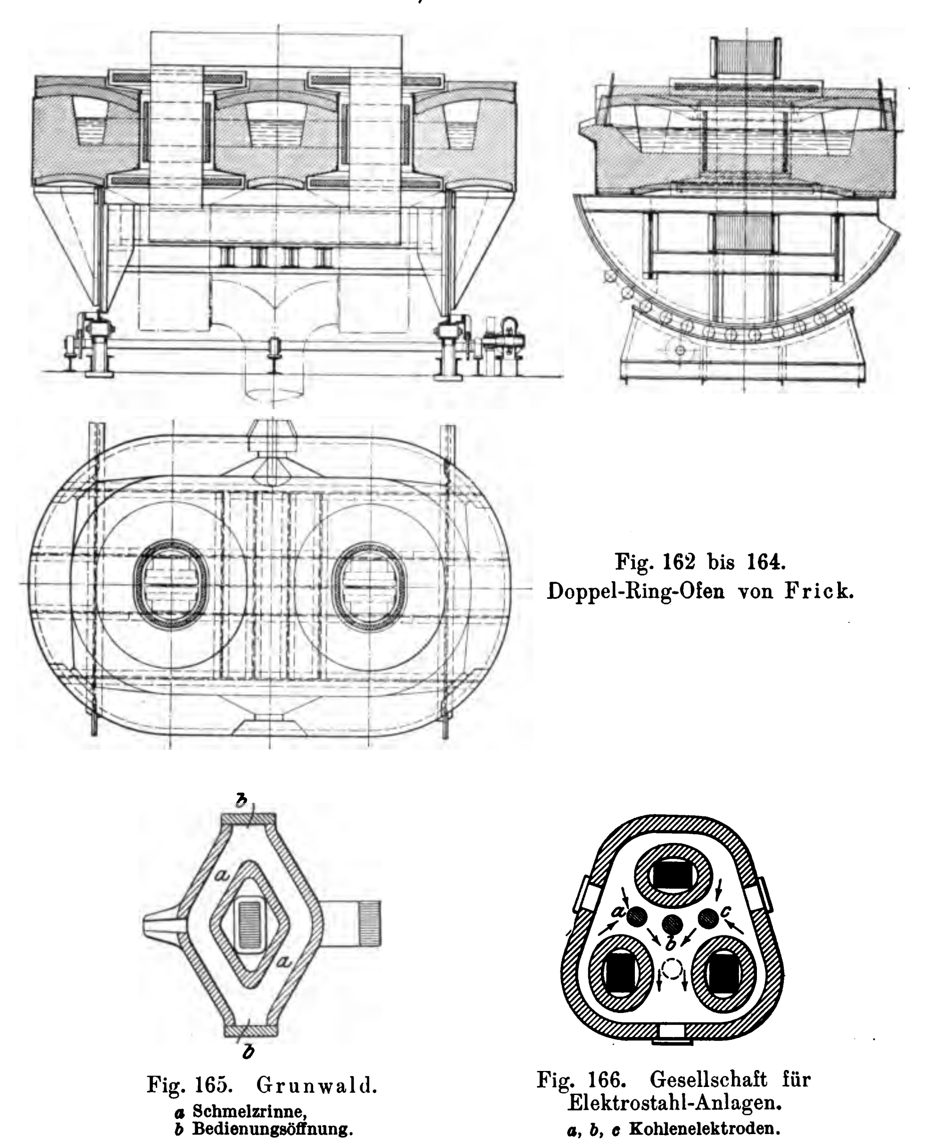


Fig. 162 bis 164. Doppel-Ring-Ofen von Frick.

Fig. 165. Grunwald.
*a* Schmelzrinne,
*b* Bedienungsöffnung.

Fig. 166. Gesellschaft für Elektrostahl-Anlagen.
*a, b, c* Kohlenelektroden.

---

**[1]) Stahl und Eisen 1913, S. 1871. Die von Frick angegebenen Stromverbrauchsziffern von 310—460 KWst. bei kaltem Einsatz und 20—65 KWst. bei flüssigem Einsatz zur Stahlerzeugung sind wohl abnorm niedrig.**

Zwecks besserer Übersicht über das Schmelzbad ordnet Grunwald die Schmelzrinne rhombisch an und bringt in den scharfen Ecken die Arbeitsöffnungen unter[1]) (Fig. 165).

Die Gesellschaft für Elektrostahl-Anlagen in Berlin-Nonnendamm will die Schmelzrinne mit schon in der Kälte, jedoch erheblich schlechter als das Schmelzgut leitendem Material auskleiden[2]) und beim Anlassen die Sekundärspannung so weit erhöhen, daß ein

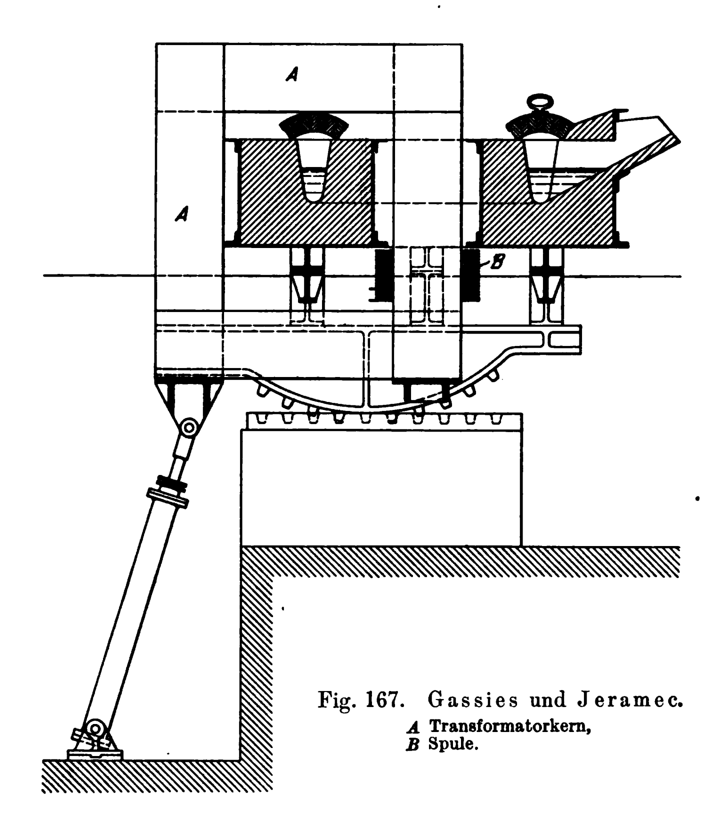



Fig. 167. Gassies und Jeramec.
*A* Transformatorkern,
*B* Spule.

Strom durch die leitende Ofenwandung fließt. Er kann stark genug gewählt werden, um die Wandung auf die Schmelztemperatur des Metalles zu erhitzen und diese daher indirekt auf das Metall übertragen (Fig. 166).

Unter dem Namen elektrisches Konverter-Verfahren verwendet Greene einen Rinnenofen mit Induktion und erhitzt in demselben das Bad genau auf jede Temperatur, welche für den betreffenden

[1]) D. R. P. 231 378.
[2]) D. R. P. 232 883 von 1909.

Reinigungsprozeß nötig ist. Gleichzeitig kann Wind eingeblasen werden, welcher durch Abgase von Hoch- oder Kupolöfen oder auch durch ein Gemisch von Gicht- und Rauchgasen geliefert wird. Ein Versuch mit einem kleinen Ofen dieser Art gelang sehr gut; es wurde bester



Fig. 168. Gassies und Jeramec. Draufsicht auf den 1200 kg-Ofen in Montluçon.

Manganstahl hergestellt. Das Verfahren soll insbesondere bei ungünstiger Zusammensetzung des Rohmaterials benutzt werden, z. B. bei sehr großem Gehalt an Kohlenstoff und Mangan. Es wird angenommen, daß 1 t Stahl in großen Öfen nur 30 KWst. benötigen würde (Nachreinigung).

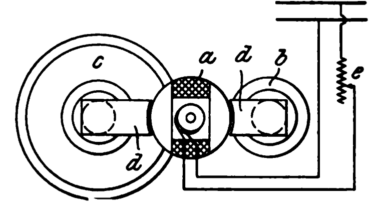



Fig. 169. Brown, Boveri & Co.
*a* Rotierendes Magnetrad,
b Primärspule,
*c* Schmelzgut,
*d* Magnetgestell,
*e* elektrischer Widerstand.

Auf der Hütte Saint-Jacques in Montluçon ist ein Induktionsofen in Betrieb, welcher jenem von Kjellin ähnelt, jedoch von den Herren Gassies und Jeramec erbaut wurde. Die Ofenwanne (Herd) ist aus vier Teilen zusammengesetzt und bildet eine kreisförmige Rinne, welche einen Schenkel des Transformators umgibt. Die Wicklungen sind etwas unterhalb des eigentlichen Ofens angebracht. Das ganze System ist kippbar

eingerichtet. In diesem Ofen wird Martinstahl raffiniert, welcher aus einem kippbaren Martinofen eingegossen wird. Die Auskleidung ist basisch.

Brown, Boveri & Co. in Baden (Schweiz) treffen eine Einrichtung zur Phasenkompensation bei Mehrphasenstrom. Es soll die Belastung derart geregelt werden können, daß man die primäre Phasenverschiebung mit Hilfe eines rotierenden Magnetrades mehr oder weniger kompensiert[1]) (Fig. 169).

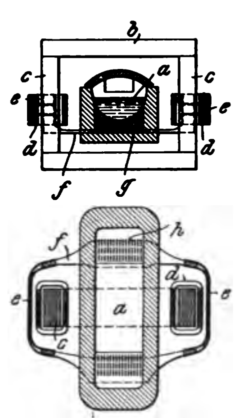



Fig. 170. Röchling und Rodenhauser.
a Schmelzbad,
b, c Transformatorkern,
d Primärwicklung,
e sekundäre Wicklung,
f Leitung,
g Polplatten,
h Polstifte.

Die Metallurgen Röchling und Rodenhauser[2]) konstruierten auch einen elektrischen Induktions- und Widerstandsofen mit trogartiger Gestalt des Herdes. Um diesen geht das Magneteisenjoch herum. Die sekundäre Wicklung auf beiden Seiten ist verbunden mit im Bodendes Troges befindlichen Polplatten und von diesen gehen Stifte schräg nach aufwärts, welche den Strom durch die Zustellung hindurch oder unmittelbar auf das Bad übertragen. Es findet hier eine Beheizung des Bades durch Induktion und unmittelbare Stromzuleitung an drei Stellen statt.

Dr. Helfenstein[3]) stellt einen elektrischen Induktionsofen in Gestalt einer geraden Rinne her, welche außen mit einem eisernen Mantel umgeben ist. Dieser wird mit dem Metallbad an beiden Enden verbunden, so daß eine Schleife und ein geschlossener sekundärer

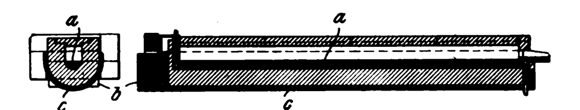



Fig. 171. Helfenstein.
a Metallbad, b sekundäre Wicklung, c eiserner Ofenmantel.

Stromkreis entstehen. Die festen Teile der sekundären Windung können durch Luft gekühlt und so geschont werden, wodurch auch die Leitfähigkeit derselben infolge von Erhitzung nicht erheblich herabgedrückt werden kann.

---

[1]) D. R. P. 246 036 von 1909.
[2]) D. R. P. 247 500 von 1909.
[3]) D. R. P. 246 435 von 1911 und D. R. P. 254 733 von 1911.

Ein kleiner metallurgischer Ofen stammt von Hansen[1]). Derselbe besteht aus einem rotierenden Tiegel, in welchem sich infolge der Rotation eine ringförmige bzw. zylindermantelförmige Metallschicht bildet. Diese soll als sekundärer Stromkreis für in dieser Schichte direkt induzierten oder zugeleiteten Induktionsstrom benutzt werden. Dabei kann der Ofenkörper selbst einen Transformatorschenkel oder den Anker bilden, in welchem die Ströme direkt erzeugt werden.

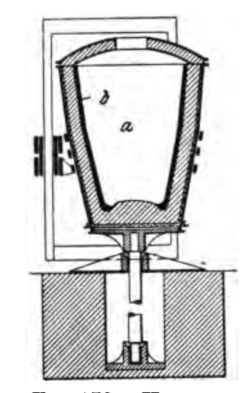



Fig. 172. Hansen.
a Ofen.
b Ringschicht aus geschmolzenem Metall.

Manche Konstrukteure ordneten oberhalb des Bades der Induktionsöfen auch Elektroden an und sandten einen sekundären Strom durch.

Gin[2]) hatte solche in den erweiterten Teilen seines Rinnenofens angeordnet, um insbesondere die Schlacke dünnflüssig und gut reaktionsfähig zu erhalten.

Die Gesellschaft für Elektrostahlanlagen[3]) versieht einen Drehstromofen mit drei Kohlenelektroden. Der Elektrodenstrom soll in Verbindung mit den infolge der Induktionsströme des Bades an dessen Oberfläche verlaufenden magnetischen Strömungen im Metall und besonders in der Schlacke eine Bewegung in bestimmter Richtung erzeugen. Die Schlacke soll dabei an einer bestimmten Stelle abgezogen werden, um an einer anderen wieder durch neue Schlacke ersetzt werden zu können.

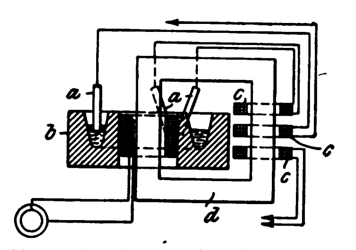



Fig. 173. Mulacek u. Hatlanek.
a Elektrodenpaare,
b Schmelzrinne,
c Spulen für den Elektrodenstrom,
d Magnetjoch,

Mulacek und Hatlanek[4]) wollten insbesondere kalten Einsatz durch Elektrodenstrom erhitzen, bis das Metall flüssig ist und der Induktionsstrom durchfließt. Der für die Elektroden zu benutzende sekundäre Strom sollte in eigenen Windungen, welche um den äußeren Teil des Magnetkernes gelegt waren, erzeugt werden, wobei eine Ofenkonstruktion nach Art Kjellin gedacht war.

Einen kleinen Tiegelofen sucht Helberger mit elektrischer Widerstandsheizung zu versehen. Er stellte den Tiegel aus leitender Masse

[1]) D. R. P. 258 480 von 1912.
[2]) D. R. P. 228 136, Zusatz zu Nummer 189 202.
[3]) D. R. P. 232 882 von 1909, Zusatz zu 199 354.
[4]) D. R. P. 238 760 von 1908.

her, welche in den sekundären Kreis eines Transformators eingeschaltet wird. Der Tiegel wird zu diesem Zweck auf eine Unterlage von feuerfestem leitenden Material (Kohle, Graphit oder ähnliches) gestellt und be-

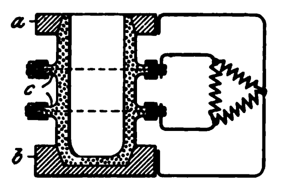



Fig. 174. Helberger.
a, b Kontakte,
c Verstärkungsrippen mit Kontakten.

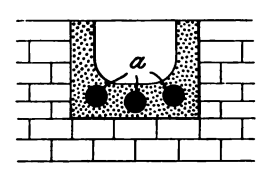



Fig. 175. Helberger.
a Leiter.

kommt auf seinen oberen Rand eine Helbergersche Kontaktvorrichtung[1]) aufgesetzt. Diese ist mit Aussparungen versehen, um den Tiegel beschicken und den Inhalt beobachten zu können. Bei größeren Tiegeln will Helberger noch andere Kontakte an Verstärkungsrippen oder ähnlichen Stellen der Oberfläche vorsehen, wodurch sie auch für Mehrphasenstrom geeignet werden sollen. In den Boden des Tiegels können auch Leiter aus Kohle, Graphit oder Ton eingelegt werden (Fig. 175), welche bereits bei der Erzeugung einzubauen sind und sodann als Wärmeerzeuger beim Brennen des Tiegels wirken können[2]). Derselbe Erfinder wollte auch einen elektrisch beheizten Tiegel mit einer Gußform so verbinden, daß das Schmelzgut, ohne mit der Luft in Berührung zu kommen, in die Gußform einfließen kann[3]).

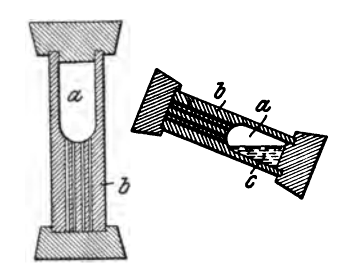



Fig. 176. Helberger.
a Tiegel,
b Gießform.

Die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft in Berlin patentierte einen Ofen[4]) für elektrisch zu beheizende Schmelzbäder,

---

[1]) D. R. P. 228 918 von 1908 und 238 486 von 1910. Dieser Tiegelofen wurde von Rodenhauser für Probeschmelzungen in Stahlwerken empfohlen.

[2]) D. R. P. 246 083 von 1910.

[3]) D. R. P. 245 675 von 1911. Die Helbergerschen Öfen werden in den Laboratorien der Skodwerke A.-G. in Pilsen, der Stora Kopparbergs A. B. in Falun, der Fabrique nationale d'Armes de Guerre in Herstal-les-Liège u. a. mit Erfolg verwendet. Sie werden nur in Größen bis zu 100 kg Einsatz hergestellt und sind zur Erzeugung von Eisen im Großen nicht bestimmt. Ihr Hauptanwendungsgebiet ist die Edelmetallindustrie. Die Laboratoriumsöfen für die Eisenwerke besitzen meist zwei Tiegelteile, von welchen einer für das flüssige Eisen, der andere für das Schmelzen der Zutaten bestimmt ist.

[4]) D. R. P. 220 856 von 1909.

bei dem die Elektroden in der Ofenwand eingebettet und durch eine stromleitende feuerfeste Masse vor der direkten Berührung mit dem Schmelzgute geschützt sind. Zum Anheizen werden Hilfselektroden benutzt, welche nach ausreichendem Flüssigwerden des Schmelzgutes aus der Wandung herausgezogen werden können.

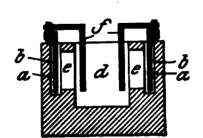



Fig. 177. Allgemeine Elektrizitäts-Ges. in Berlin.

*a* Elektroden,
*b* Kanäle,
*d* Schmelzraum,
*e* gitterartige Öffnungen,
*f* Hilfselektroden.

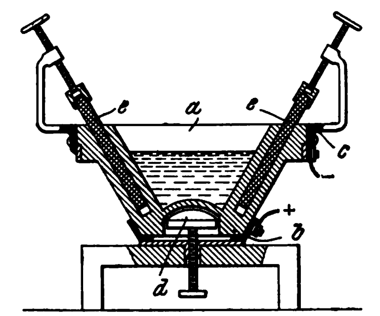



Fig. 178. Purchasing & Co.

*a* Tiegel,
*b*, *c* Stromanschlüsse,
*d*, *e* leitende Körper.

Mit einem anderen elektrischen Widerstands-Tiegelofen versuchten sich Purchasing & Co. in Newark[1]). Ihr Tiegel sollte veränderlichen Widerstand haben. Er ist aus Leitern zweiter Klasse angefertigt gedacht und erhält Stromanschluß an zwei einander gegenüberliegenden Stellen des oberen und unteren Randes. Außerdem sind ein leitender Körper unter dem ausgehöhlten Boden und zwei solche in Höhlungen der Mantelfläche eingeschoben. Diese sind mit den Stromanschlüssen des oberen und unteren Randes verbunden. Es soll dadurch eine beliebige Regelung der Erwärmung während des Betriebes möglich sein.

Kleine Öfen haben Fitzgerald, Thomson und Kohn angefertigt. Erstere erzeugten die Gewölbedecke aus nebeneinanderliegenden Kohlenziegeln, durch welche der Strom zwecks Erhitzung geht, während Kohn auswechselbare Erhitzungswiderstände für Tiegel-, Muschel- und Röhrenöfen herstellte[2]).

Pfretschmer & Co.[3]) wollen den Übergangswiderstand zwischen einem vertikalen Stempel aus schwer schmelzbarem Material (z. B. Wolfram-Kupfer) und dem Boden des Tiegels benutzen, um die nötige Hitze zu erzeugen. Diese Öfen sind vornehmlich nur für leichtflüssige Legierungen oder als Laboratoriumsöfen gedacht, bei denen die Ausnutzung der elektrischen Energie keine große Rolle spielt. Sonst wäre wohl darauf hinzuweisen, daß das Einschmelzen des Materials mit

[1]) D. R. P. 255 318 von 1912.
[2]) Stahl und Eisen 1911, S. 1149.
[3]) D. R. P. 244 171 von 1910.

Hilfe der in der Ofenwandung erzeugten Wärme stets große Wärmeverluste mit sich bringen muß[1]). Pfretschmer & Co. haben augenscheinlich auch aus diesem Grunde ihren Ofen mit einem Schutzmantel umgeben.

Ein Verfahren zur Herstellung von Material großen Widerstandes, wie es bei Widerstandsöfen, also auch bei den Widerstands-Tiegelöfen benötigt werden kann, hat die Société des Nitrures in Paris[2]) erdacht. Das Widerstandsmaterial wird aus kleinen Teilstücken zusammengesetzt, welche Einlagen aus dünnem, brennbarem Material, z. B. Papier, erhalten. Beim Brennen entstehen in der ganzen Masse verzweigte Hohlräume, durch welche der Widerstand gegen den elektrischen Strom bedeutend erhöht wird.

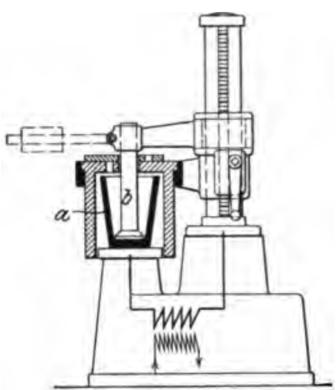


Fig. 179. Pfretschmer & Co.
a Schmelztiegel,
b Kontaktstempel.

Damit kommen wir, nachdem die Reihe der bekanntgewordenen Ofensysteme so ziemlich erschöpft ist, auf ein anderes, nämlich jenes Gebiet, welches die Herstellung der Öfen und der Elektroden bzw. deren Material bezweckt.

Da die Ofensysteme eine große Vervollkommnung erfahren haben und sich eine Reihe von Verfahren der Elektroeisenerzeugung bestens bewährt hat, suchte man natürlich auch Detailfragen zu beantworten, welche auf dem eben genannten Gebiete offen stehen.

So wollte insbesondere die Poldi-Hütte eine Besserung der Zustellung erstreben, um die Haltbarkeit der Öfen zu erhöhen[3]). Sie schlägt verschiedene Formen für Induktionsschmelzrinnen vor, schaltet Dilatationsräume zwecks Möglichkeit der Ausdehnung der erhitzten Wände ohne Schadennahme ein usw., indessen die Rombacher Hüttenwerke und Bronn basisches Futter von elektrischen Rinnenöfen mit einem dichtenden Überzug aus kieselsäurehaltigem Flußmittel[4]) versehen.

---

[1]) Nach Conrad bringen auch Bodenelektroden und in die Wandung eines Schmelzherdes eingebaute Pole, wie jene beim Röchling-Rodenhauser-Ofen, nur Wärmeverluste und keine Nutzheizung mit sich. Conrad sucht dies rechnerisch nachzuweisen, indem er berücksichtigt, daß zu große Erwärmung der Zustellung zwecks Abgabe entsprechender Hitze an das Schmelzbad eine übergroße Abnutzung der Mauerung durch Schlacke und Schmelzgut zur Folge haben muß. — Siehe Conrad, „Über Strom- und Spannungsverhältnisse im elektrischen Ofen“. Stahl und Eisen 1910, S. 1076.

[2]) D. R. P. 244 651 von 1911.

[3]) D. R. P. 216 222 von 1909, 229 407.

[4]) D. R. P. 242 692 von 1910.

Keller, welcher bekanntlich den Herdboden aus Eisenstäben und Leitern zweiter Klasse hergestellt hat, will denselben mit feuerbeständigen Stoffen, z. B. einem Gemisch von Feilicht und Magnesia, überdecken[1]).

Den Elektroden und deren Fassungen wurde im letzten Zeitabschnitt der Elektroeisengeschichte ein besonderes Augenmerk zugewendet. Die richtige Dimensionierung der Elektroden sucht Hering durch Aufstellung eigener Formeln zu erhalten. Er weist darauf hin, daß jeder Zentimeter derselben, welcher unnötigerweise vom Strom durchflossen wird, einen Verlust bedeutet. Die Elektroden sollen eine Wärme erhalten, bei welcher sie das Mauerwerk nicht angreifen und das Schmelzgut nicht abkühlen[2]). Nichtsdestoweniger schwanken die Ansichten der verschiedenen Verfasser sehr in der Frage, wie groß die spezifische Beanspruchung der Kohlenelektroden gewählt werden soll und wird so ein Spielraum zwischen 2 und 6 Ampère pro $cm^2$ Querschnittsfläche erhalten.

Um auch Elektrodenreste wieder verwenden zu können, umgießt Tharolden solche Reste mit dem zu erschmelzenden Metall[3]). Die Übergangswiderstände, welche zwischen den Berührungsflächen verschraubter Elektrodenteile entstehen, sollen nach den Plania-Werken dadurch vermindert werden, daß zur Verbindung ein besser leitendes Material, z. B. Kohle mit Graphit- oder Metallgehalt, oder konische Metalleinlagen verwendet werden[4]). Die Gute-Hoffnung-Hütte sucht die Elektroden[5]) vor den heißen Gasen zu schützen, welche zwischen Kühlring und Elektroden aus dem Ofen entweichen, indem sie dieselben mit Schutzhüllen aus patentierter Masse umgibt, deren Hauptbestandteile Asbest, Wasserglas, Kieselgur, Zement, Draht usw. sind. Gebrüder Siemens & Co. in Lichtenberg bei Berlin verwenden eigene Paßstücke zum Zentrieren der zusammengeschraubten Elektroden.[6])

Näheres über die „Herstellung der Kohlenelektroden für elektrometallurgische Zwecke" ist in Stahl und Eisen 1912, S. 1857 zu finden.

---

[1]) D. R. P. 252 528, Zusatz zu 219 575.

[2]) Stahl und Eisen 1910, S. 1016 und 1676. — Met. u. Chem. Eng. 1910, S. 188 und 276. — Hering bespricht auch an verschiedenen Stellen die Strahlungsverluste der Elektroöfen und meint, daß sich dieselben durch entsprechende Formgebung vermindern lassen müßten.

[3]) D. R. P. 239 087 von 1910.

[4]) D. R. P. 238 343 von 1910 und 245 629 von 1911.

[5]) D. R. P. 244 923 von 1911.

[6]) D. R. P. 245 321 von 1911. Die Werke Gebrüder Siemens & Co. in Berlin-Lichtenberg stellen heute Kohlenelektroden bis zu 3 m Länge und 600 × 600 mm oder 820 mm ∅ Querschnittsgröße her.

In diesem Aufsatz ist auch die einschlägige Literatur zusammengestellt[1]).

Über „Die Elektrodenfassungen bei Elektroöfen", unter welchen jene Kellers unter Verwendung des Angießens der Kohle an den Haltern mittels Kupfer oder Gußeisen und Zinn besonders geschätzt werden sollen, berichtet ein anderer ausführlicher Aufsatz in derselben Zeitschrift vom Jahre 1913, S. 472 u. f.

Erwähnt sei noch, daß von den Planiawerken auch Kohlenelektroden mit Metalleinlagen vorgeschlagen wurden, wobei das Metall so zu wählen ist, daß es gleich stark wie die Kohle verbraucht wird[2]).

Perkins wollte die Zusammensetzung der Elektroden so wählen, daß Kohlen- oder Eisenrohre mit Kalk, Eisenoxyd und anderen Schlackenbildnern gefüllt, oder ein Eisen- oder Kohlenkern von diesen Materialien umgeben wird. Mit Hilfe solchermaßen zusammengesetzter Pole wäre man in der Lage, dem Schmelzbad stets frische leichtflüssige Schlacke zuzuführen. Dieses Verfahren wäre bei der Raffination von Hochofeneisen oder Bessemer-Stahl anzuwenden. Der Gedanke geht demnach bereits in das Gebiet der Reinigungsverfahren über, auf welchem in den letzten Jahren eine ganze Reihe von Vorschlägen zwecks Verbesserung der auf elektrischem Wege gewonnenen Erzeugnisse gemacht wurde[3]). Einige derselben sind sowohl auf die Eisengewinnung mit als auch auf die ohne Elektrizität anwendbar.

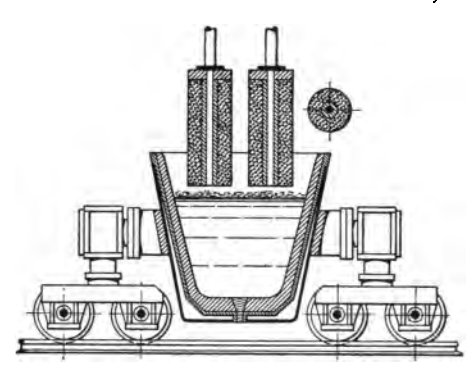


Fig. 180. Perkins.

Gredt hatte schon in früheren Jahren Roheisen unter Anwendung von Eisenoxydverbindungen im elektrischen Induktionsofen gereinigt[4]). Es ist dies im wesentlichen die Anwendung des Talbotschen Verfahrens auf den elektrischen Induktionsofen. Die Société Anonyme Electrométallurgique Procédés Girod in Ugine will Eisen aus Konverter- und Martinöfen mit Phosphor-, Mangan- und Siliziumgehalt in den elektrischen Ofen überführen und dort mit Hilfe von Eisenoxyden

[1]) Vgl. auch Zellner, Die künstlichen Kohlen für elektrothermische und elektrochemische Zwecke, ihre Herstellung und Prüfung, Berlin 1903.

[2]) D. R. P. 248 082 und 245 629 von 1911.

[3]) Siehe auch Greene S. 120.

[4]) D. R. P. 212 294.

u. dgl. reinigen[1]). Die Gesellschaft für Elektrostahl-Anlagen in Berlin-Nonnendamm wollte das Talbot-Verfahren derart ausführen, daß in einem Induktionsofen vorgefrischt und in einem zweiten fertiggefrischt und vollständig gereinigt wird[2]).

Die Elektrostahl-Gesellschaft m. b. H. desoxydiert flüssiges Eisen in Lichtbogenöfen unter Aufwerfen von zerkleinerter Kohle und manganhaltiger Stoffe[3]).

Ein Verfahren zum Schmelzen von Metall und anderen Stoffen in elektrischen Induktionsöfen unter Verwendung eines Schlackenbades stammt von den Diamantin-Werken Rheinfelden, A.-G.[4]). Nach diesem wird das Schmelzgut in ein bereits richtig erhitztes Schlackenbad eingeworfen und findet die Erhitzung des Schmelzgutes nur durch das Schlackenbad statt.

Greene weist gelegentlich der Besprechung der Entfernung von Phosphor aus dem Eisen darauf hin, daß zwecks Reinigung auch das einfache Abstehenlassen bei richtiger Hitze gute Wirkung habe.

Thallner läßt die Schlacke erkalten oder zieht sie ganz ab, um das Bad im elektrischen Ofen zu entschwefeln, nachdem der Phosphor bereits entfernt wurde. Dabei kann die Kohlung und Desoxydation vor der Entschwefelung oder gleichzeitig mit ihr stattfinden[5]).

Die Société Girod in Ugine verwendet einen Ofen mit saurer Auskleidung zum Vorreinigen, einen zweiten, mit basischer Auskleidung zur Entschweflung (wenn auf die vollständige Entfernung des Schwefels aus stark schwefelhaltigem Material besonders Wert gelegt wird) und einen weiteren mit saurer Auskleidung zur Fertigraffination und zur Ausscheidung der Schlackenreste[6]).

Die Vereinigten chemisch-metallurgischen und metallographischen Laboratorien in Berlin wollten Erze in einem stark überhitzten und holzkohlenstoffhaltigen Eisenbad reduzieren und dann rückkohlen. Dies wird unter ständigem Zusatz von Eisenerzen so lange fortgesetzt, bis genügend Roheisen vorhanden ist und sodann wird im selben elektrischen Ofen gefrischt[7]).

---

[1]) Französisches Patent 402 756.
[2]) D. R. P. 225 832 und 212 294.
[3]) Schweizerisches Patent 44 856. Über „Die Aufgabe der Schlacke bei der elektrischen Stahlherstellung" siehe die Abhandlung Ambergs in Stahl und Eisen 1913, S. 71.
[4]) D. R. P. 242 345 von 1909.
[5]) Österreichisches Patent 42 500.
[6]) Französisches Patent 10 947, Zusatz zum Hauptpatent Nr. 388 614.
[7]) D. R. P. 231 807 von 1907.

Borchers patentierte ein Verfahren zum Verschmelzen titanhaltiger Eisenerze auf titanfreies Eisen und auf siliziumarme Titanverbindungen oder -Legierungen auf elektrischem Wege[1]).

Bei allen diesen Verfahren spielt die Schlacke naturgemäß eine wesentliche Rolle. Amberg weist nun darauf hin, daß nicht nur die chemische Reaktion, sondern auch die reine chemische Entmischung des Bades von Metall, Schlacke und Gasen beim elektrischen Verfahren viel besser vor sich gehe als bei jenen, bei welchen keine Elektrizität angewendet wird. In ähnlicher Weise bemerkt Greene bezüglich der Entphosphorung, daß man dieselbe nur bei der elektrischen Erhitzung vollkommen in der Hand habe (Elektrischer Konverter, S. 120).

In dem Thomas-Werk der Burbacher Hütte wendet man der Umschmelzung von Ferromangan aus dem Grunde große Sorgfalt zu, weil man dasselbe dort im flüssigen Zustande in die Birne gibt, statt wie früher feste Stücke davon einzuwerfen.

Über dieses Verfahren, welches zuerst in Livet verwendet worden sein soll, berichtet Schroeder im Jahre 1911, daß diese Ferrolegierung in kontinuierlichem Betriebe eines Keller-Ofens flüssig bereitgehalten wird.

Die Ingangsetzung des Ofens geschieht zu diesem Zwecke ohne Zugabe von flüssigem Gut oder anderen Materialien. Ausbesserungen kommen unter der Woche nie vor. Die Haltbarkeit der Zustellung bleibt ausgezeichnet. Schroeder sagt, daß

1. sich das Umschmelzen von Ferromangan im Keller-Ofen ohne Verlust von Mangan durch Verdampfung vollzieht;

2. daß die Ersparnis von Ferromangan beim flüssigen Einsatz in den Konverter 35 % unter Voraussetzung sonst gleicher Umstände betrage;

3. daß die Schmelzkosten 20 M. pro t betragen unter Voraussetzung von 0,02 M. Strompreis pro KWst.; daß weiter die Ersparnis weit größer sei als die Schmelzkosten des Ferromangans. Bei flüssigem Ferromanganzusatz werde die gewünschte Stahlqualität sicherer erreicht als bei festem Zusatz. Auch an Zeit werde erspart, da das Abstehenlassen zum Zwecke des Schmelzens des flüssigen Ferromangans wegfalle. Das Verfahren dürfte auch im Martinofen gut anwendbar sein.

Nach Korten ist beim Umschmelzen von Ferromangan im elektrischen Ofen sehr zu beachten, daß Verdampfungsverluste in größerem Maßstabe eintreten können. Dieselben werden vermieden, wenn niedere Stromspannung verwendet wird. Die westdeutschen Thomasphosphatwerke verwenden z. B. nur 30 V. Spannung. Heute ist das Ver-

---

[1]) D. R. P. 230 122 von 1908. Siehe auch Borchers „Über das reduzierende Verschmelzen oxydischer Erze im elektrischen Ofen". Stahl und Eisen 1911, S. 706.

fahren bereits in vielen Werken in Benutzung, dabei sollen sich Elektrodenöfen besser bewähren als Induktionsöfen.

Außer dem elektrothermischen Verfahren wurden auch in diesem Zeitabschnitte wieder Versuche und Vorschläge gemacht, das Eisen auf elektrolytischem Wege zu gewinnen.

So berichtet Pfaff[1]) in einer Abhandlung „Über die elektrolytische Abscheidung des Eisens“ von Versuchen zum Zwecke der Ermittlung der günstigsten Verhältnisse für diese Erzeugungsart und meint Burgess, daß Elektrolyt-Eisen vielleicht als Material verwendbar sei, welches im Tiegelprozeß weiterraffiniert wird.

Plauson & Tischtschenko patentierten ein Verfahren für die Darstellung von Elektrolyt-Eisen[2]), und die Langbein-Pfanhauser-Werke in Leipzig versuchten es, das Elektrolyt-Eisen für magnetische Zwecke zu verwenden. Sie erzeugten auch sog. Nickelstahl, welcher aus zwei Schichten elektrolytisch abgeschiedener Metalle, nämlich aus Eisen und Nickel bestand. Die angewendete Methode war von Fischer erdacht worden[3].)

Die umfangreichen Arbeiten, welche für die Erzeugung von Elektroeisen im letzten Zeitabschnitt aufgewendet wurden, haben es mit sich gebracht, daß weitere wesentliche Fortschritte in der Wirtschaftlichkeit und dem Umfange der Erzeugung, der Qualität des Erzeugnisses und der Vielseitigkeit der Anwendung des elektrothermischen Prozesses erreicht wurden.

Während im Jahre 1909 etwa 50 000 t Elektroeisen jährlich erzeugt wurden, ist diese Menge im Jahre 1911 auf ca. 140 000 t gestiegen und dürfte Ende 1913 300000 t pro Jahr überschritten haben. Die Zahl der bestehenden und im Bau befindlichen Elektroöfen für die Eisenerzeugung betrug im Jahre 1910 nach Mc Williams[4]) 118 Stück, von welchen 38 im Bau waren. Mit Schluß des Jahres 1913 sind deren bereits rund 250 vorhanden, obwohl eine Reihe der alten Öfen, so z. B.

---

[1]) Zeitschrift für Elektrochemie 1910, S. 217; Stahl und Eisen 1910, S. 1128.

[2]) D. R. P. 252 875 von 1911.

[3]) Stahl und Eisen 1911, S. 2106 u. 1912, S. 1965. — Über das magnetische Verhalten und den Einfluß von fremden Stoffen von und auf nach der Fischerschen Methode hergestelltem Elektrolyteisen berichtet Müller, Stahl und Eisen 1912, S. 293.

Siehe auch „Über die Geschichte des Elektrolyteisens, Stahl und Eisen 1912, S. 918.

Die Langbein-Pfanhauserwerke A.-G. in Leipzig-Sellershausen stellen nur Elektrolyteisen her, welches garantiert 99,9 % Fe enthält, dazu etwas H. Es soll jedoch so gut wie frei von S, C, P und Si sein. Diese Reinheit wird dadurch erreicht, daß das Eisen zunächst elektrolytisch abgeschieden, sodann nachraffiniert wird.

[4]) The Engineer 1912, S. 120.

jene der Forni Termoelectrici Stassano in Turin nicht mehr bestehen sollen. Die überwiegende Mehrzahl sind Elektrodenöfen. Genaueres ist aus der im II. Teil des Buches folgenden Tabelle zu entnehmen.

Auch in Rußland sind mehrere Elektroöfen aufgestellt worden, und aus Mexiko wurde der Bau von Elektrostahlwerken gemeldet. Der elektrische Energieverbrauch dürfte sich heute in mittelgroßen Öfen verschiedener Art im Mittel folgendermaßen stellen):

| | KWst. |
|---|---|
| Roheisen aus Erz | 2000 |
| Stahl aus Erz (direkt) | 3000 |
| Stahl aus kaltem Roheisen | 1500 |
| Stahl aus kaltem Schrot | 680— 900 |
| Hochwertiger Qualitätsstahl aus kaltem Schrot | 1000—1200 |
| Stahl aus flüssigem Roheisen | 1000—1200 |
| Stahl aus flüssigem Schrot | 150— 340 |
| Stahl aus kaltem Roheisen und kaltem Schrot | 900—1300 |
| Stahl aus flüssigem Roheisen und kaltem Schrot | 600—1000 |
| Stahlformguß aus kaltem Einsatz | 900 |
| Nachraffination von flüssigem Martin- und Konvertermaterial zu Konstruktionsstahl | 100— 150 |
| Nachraffination von flüssigem Martin- und Konvertermaterial zu Spezialstahl | 200— 300 |
| Einschmelzen von kaltem Schrot | 650 |
| Warmhalten von Roheisen für Gießereizwecke | 50 |
| Umschmelzen von Legierungen (Ferromangan) | 800 |

Der Verbrauch an Elektrodenkohle bei den Öfen mit Oberflächenelektroden schwankt zwischen 2 und 25 kg pro Tonne fertigem Produkt. Er soll beispielsweise betragen bei

| | |
|---|---|
| Darstellung von Roheisen aus Erz | 2,8 kg |
| „ „ gewöhnlichem Stahl aus kaltem Schrot | 9—15 „ |
| „ „ hochwertigem Qualitätsstahl aus kaltem Schrot | 25 „ |
| „ „ Stahlformguß aus kaltem Einsatz | 6 „ |
| „ „ Stahl aus flüssigem Schroteinsatz | 2— 3 „ |

Über die Qualität des Erzeugnisses kann ganz allgemein berichtet werden, daß es infolge Homogenität, Dichte, Reinheit, Gasfreiheit, Bearbeitungsfähigkeit an erster Stelle steht, daß es auch gegen Säuren und Witterungseinflüsse beständiger ist als gewöhnlicher Flußstahl. Der Kohlenstoffgehalt läßt sich erhöhen, ohne Dehnung und Schlag-

festigkeit zu beeinträchtigen; die Oberflächenabnutzung ist geringer als bei anderen Erzeugnissen[1]).

Es wird daher nach Bian das elektrische Erzeugnis überall dort anzuwenden sein, wo höhere Beanspruchungen jedweder Art an ein Material gestellt werden und dort unbedingt den Vorzug beanspruchen dürfen.

Insbesondere gilt dies von Spezial-Stahlsorten und Legierungen, derart, daß der Tiegelstahl voraussichtlich allmählich verdrängt werden wird[2]). Auch in Gießereien wird der Tiegel abkommen; dort wird der Stahlformguß mit Hilfe der Elektroöfen eingeführt, da das Tiegel- und Konvertermaterial viel teureren Guß ergibt als der Elektroofen[3]). Selbst in kleinen Gießereien hat sich der Elektroofen bestens bewährt. Gießerei-Roheisen, Legierungen mit Titan- und Chromgehalt für Sonderguß werden elektrisch hergestellt.

Der Erzeugung von Konstruktionsstahl ist man mit größtem Erfolge nähergetreten. Man bereitet ihn aus Schrot unter Roheisenzusatz oder auch durch Nachraffination nach dem Birnen- und Martinprozeß, wobei auch das sogenannte Erzfrischverfahren[4]) angewendet werden kann. Eisenbahnschienen, Drähte,

---

[1]) Zu bemerken ist, daß die Härtung des Elektrostahls große Vorsicht erfordert und Abspringen nach mehrfachen Mitteilungen bei ihm öfter vorkommen soll als bei anderem Spezialstahl.

[2]) Im Jahre 1912 berichtete Sommer, daß in Österreich bereits 35% der früheren Tiegelstahlerzeugung durch Elektrostahl ersetzt seien. Montanistische Rundschau 1912, S. 110.

[3]) Beim Tiegelguß kostet das fertige Stück 300—400 M. pro Tonne, beim Elektrostahlformguß der Bonner Fräserfabrik 180 M. pro Tonne. Nach Dr.-Ing. A. Müller in Sterkrade wurden in Europa mit Hilfe des elektrischen Verfahrens Stahlformgüsse erzeugt, wie sie selbst in Amerika bisher nie erhalten wurden. Dabei wurden Qualitätszahlen bis zu 42 kg/mm² Zerreißlast und 35% Dehnung nach Bruch erhalten. Siehe auch Cone, The Iron Age 1913, S. 1279.

[4]) Zusatz von Erz während des Raffinationsprozesses.

Eilender schreibt „Über die Elektrostahlerzeugung vom Standpunkte der Großindustrie“ in Stahl und Eisen 1913, S. 585:

1. Die Gestehungskosten des elektrisch nachraffinierten Thomasstahls sind bei Verwendung großer Einheiten derart niedrig, daß hiermit für viele Werke die Selbstkosten der normalen Siemens-Martinqualität erreicht und sogar noch unterschritten werden.

2. Die Gestehungskosten des sauren Elektrostahls sind unter Zugrundelegung der gleichen Ofeneinheiten erheblich niedriger als die der basisch hergestellten normalen Kohlenstoffqualitäten.

3. Die Qualität des sauren Elektrostahls ist der des basischen in den meisten Fällen überlegen.

4. Versuche, das Erzfrischverfahren auf den Elektroofen zu übertragen, lassen die metallurgische Durchführbarkeit erkennen und stellen für viele Werke auch wirtschaftliche Vorteile in Aussicht.

Bleche, nahtlose Rohre usw. werden mit Vorteil auf elektrischem Wege erzeugt.

Ein voller Ersatz des Konverter- und Martinofens durch den elektrischen Ofen hat jedoch bis heute nicht stattgefunden[1]), da das elektrische Verfahren für diese Zwecke noch zu kostspielig ist.

Die Elektrostahlerzeugung geschieht nach wie vor nach dem indirekten Verfahren aus Roheisen und Schrot, da auch die Versuche zur direkten Eisendarstellung derzeit noch zu teure Arbeitsweisen ergeben[2]).

Die Elektrolyse konnte praktisch nicht mit nachhaltigem Erfolge eingeführt werden. Immerhin hat sowohl die direkte elektrische Eisenerzeugung als auch jene mit Hilfe der Elektrolyse in den letzten Jahren Fortschritte zu verzeichnen.

---

[1]) Catani stellte eine allgemeine Formel auf, welche zeigen soll, wann der Elektroofen billiger arbeiten kann als der Martinofen. Unter der Voraussetzung, daß $K = \frac{\text{Kohlenpreis}}{\text{Kraftpreis}}$ und n das Ausbringen pro PS-Tag bedeute, soll die Formel gelten $n > \frac{13 \cdot 33}{K}$. Da das Ausbringen des elektrischen Ofens nach Catani um n = 20 kg pro PS-Tag schwankt, so erhält man nur in Ländern, wo das PS-Jahr höchstens $\frac{10}{7}$ einer Tonne Kohle kostet, daß das Elektroeisen billiger oder gleich in den Kosten sein kann wie Martineisen. — Stahl und Eisen 1910, S. 1856.

[2]) Nichtsdestoweniger sagt Johnson der direkten Eisengewinnung auf elektrischem Wege für das nächste Jahrzehnt einen Aufschwung voraus, „a somewhat wider field than it is thought generally to possess at present“. Er meint jedoch, daß dieselbe in zwei Stufen erfolgen werde. Iron age 1912, S. 450.

# II. Teil.

## Die bestehenden und im Bau befindlichen elektrischen Eisenerzeugungsöfen.

Da es für die Elektroeisen-Interessenten von Wert sein dürfte, über die Verbreitung der einzelnen Systeme, über die Erzeuger und Besitzer von Elektroeisenöfen, deren Größe und Verwendung Genaueres zu erfahren, soll anschließend an die Geschichte der elektrischen Eisenbereitung eine Tabelle folgen, in welcher alle dem Verfasser bekannt gewordenen bestehenden und im Bau befindlichen Öfen verzeichnet sind.

Übersicht über die Zahl der Elektroeisenöfen, geordnet nach dem Standorte.

| Land | Verwendungszweck | | | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | Umschmelzen von Ferromangan | Erzeugung von | | | |
| | | schmiedbarem und legiertem Eisen | Stahlformguß | Roheisen | |
| Belgien | — | 3 | 1 | — | 4 |
| Deutschland | 9 | 40 | 7 | — | 56 |
| England | — | 15 | 5 | 1 | 21 |
| Frankreich | — | 31 | 6 | — | 37 |
| Italien | — | 10 | 3 | — | 13 |
| Luxemburg | 1 | 1 | 3 | — | 5 |
| Norwegen | — | 2 | — | 12 | 14 |
| Österreich-Ungarn | 1 | 13+1 | 2 | — | 17 |
| Rußland | — | 7 | 3 | — | 10 |
| Schweden | — | 6 | — | 13 | 19 |
| Schweiz | — | — | 3 | — | 3 |
| Spanien | — | 1 | 1 | — | 2 |
| Europa | 11 | 130 | 34 | 26 | 201 |
| Kanada | — | 3 | — | — | 3 |
| Mexiko | — | 3 | — | — | 3 |
| Vereinigte Staaten von Nordamerika | 1 | 20 | 9 | — | 30 |
| Amerika | 1 | 26 | 9 | — | 36 |
| Japan | — | 1 | — | — | 1 |
| Asien | — | 1 | — | — | 1 |
| Summe | 12 | 157 | 43 | 26 | 238 |

**Übersicht über die Zahl der Elektroeisenöfen, geordnet nach den Systemen.**

| System | Verwendungszweck | | | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | Umschmelzen von Ferromangan | Erzeugung von | | | |
| | | schmiedbarem und legiertem Eisen | Stahlformguß | Roheisen | |
| Bonner M.-F. | — | 2 | 2 | — | 4 |
| Bronn | 1 | — | — | — | 1 |
| Chaplet | — | 15 | — | — | 15 |
| Elektrometall | — | 4 | — | 16 | 20 |
| Gin | — | 1 | — | — | 1 |
| Girod | 1 | 21 | 11 | — | 33 |
| Helfenstein | — | — | — | 1 | 1 |
| Héroult | 6 | 51 | 12 | — | 69 |
| Hiorth | — | 1 | — | — | 1 |
| Keller | — | 6 | 2 | — | 8 |
| Lorentzen | — | — | — | 8 | 8 |
| Nathusius | 1 | 6 | 1 | — | 8 |
| Stassano | — | 9 | 10 | — | 19 |
| Stobie | — | 3 | — | 1 | 4 |
| Eigenes | — | 3 | — | — | 3 |
| Elektrodenöfen | 9 | 122 | 38 | 26 | 195 |
| Colby | — | 1 | — | — | 1 |
| Frick | — | 6 | — | — | 6 |
| Kjellin | — | 14 | — | — | 14 |
| Röchling-Rodenhauser | 3 | 12 | 5 | — | 20 |
| Schneider | — | 1 | — | — | 1 |
| Eigenes | — | 1 | — | — | 1 |
| Induktionsöfen | 3 | 35 | 5 | — | 43 |
| Summe | 12 | 157 | 43 | 26 | 238 |

Diese Tabelle wurde nicht etwa aus verschiedenen Zeitschriften und Tabellen zusammengeschrieben, sondern ist das Ergebnis einer umfangreichen Korrespondenz und von dieser beinhalteten Mitteilungen aus der Praxis, so daß sie vollen Anspruch auf Glaubwürdigkeit verdienen dürfte.

Da alle Berichte nach dem 1. Januar 1914 einliefen, können sie den Stand der Elektroeisenindustrie zur Jahreswende 1913/14 bestens charakterisieren. Es sind im ganzen 238 Öfen angeführt und dürften zu diesen noch einige wenige hinzuzufügen sein, so z. B. drei im Bau befindliche Stobieöfen, 2 Öfen in Ulefos, einer in Trollhättan und 3 in Héroult in Kalifornien, von welchen die in Erfahrung gebrachten Daten für den Zweck der Tabelle zu spärlich sind.

Es ist jedoch anzunehmen, daß die Zahl der bestehenden und im Bau befindlichen Öfen 250 kaum überschreitet.

Die Tabelle gibt die Öfen geordnet nach Ländern und Systemen wieder.

Es entfallen nach dieser auf die Länder, Systeme und Verwendungszwecke vorstehende Ofenzahlen.

Von den angeführten Öfen befinden sich

in Betrieb . . . . . . . . . . 184
außer Betrieb . . . . . . . 9
im Bau . . . . . . . . . . . 45[1]).

Als die wichtigsten Ofenerzeuger erscheinen die Firmen:

Gesellschaft für Elektrostahlanlagen in Berlin-Nonnendamm für Induktions- und Girodöfen,

Elektrostahlgesellschaft Remscheid-Hasten für Héroultöfen,

Westdeutsche Thomasphosphatwerke in Berlin für das System Nathusius,

Bonner Maschinenfabrik Mönkemöller in Bonn a. Rh. für ihren Lichtbogenstrahlungsofen (Stassano ähnlich),

Société anonyme Electrometallurgique Proc. Paul Girod, Ugine, für Girodöfen,

---

[1]) Hierzu kämen noch folgende Öfen, von welchen dem Verfasser zum Teile nicht bekannt ist, ob dieselben nur projektiert oder schon im Bau befindlich sind:

| System | Erzeuger | Besitzer | Aufstellungsort | Land | Stromart | Kw. | Einsatz | Erzeugnis |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stobie | Viktor Stobie Sheffield | — | — | England | Zweiphasenstrom | 500 | 4000 | — |
| „ | „ | — | — | Schottland | Drehstrom | 1250 | 10000 | — |
| „ | „ | — | — | Deutschland | Zweiphasenstrom | 500 | 4000 | — |
| — | Ferrolegeringar Aktiebolaget | Ferrolegeringar Aktiebolaget | Trollhättan | Schweden | — | — | — | Ferrochrom |
| Lorentzen | — | Ulefos Eisen werke | Ulefos | Norwegen | — | — | — | Gießereiroheisen |
| „ | — | „ | „ | „ | — | — | — | „ |
| Anderson | Scott Anderson, Sheffield | — | Newcastle | England | — | — | 1000 | Eisenlegierungen |
| „ | „ | — | London | „ | — | — | 1000 | „ |
| — | — | — | Héroult | Kalifornien V. St. A. | Drehstrom | 2000 | — | Roheisen |
| — | — | — | „ | „ | „ | 3000 | — | „ |
| — | — | — | „ | „ | „ | 2000 | — | „ |

Société Electrometallurgique française, Froges, für das System Héroult,
Le Consortium Electrosidérurgique, früher Société la Néométallurgie in Paris für das System Chaplet,
Société des Établissements Keller-Leleux in Livet für das System Keller,
Major Ingenieur Stassano in Turin für Stassanoöfen,
The Stobie Steel Co. Ltd. in Sheffield für Stobies System,
The United States Steel Corporation in New York für Héroult-Öfen usw.

Die gesamte für die elektrischen Eisenbereitungsöfen angewendete Energie beträgt ausschließlich der Roheisenerzeugung ungefähr 136000 KW, die Kapazität der Öfen 956 t (Einsatz)[1]), sonach entfallen im Durch-

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Bonner Maschinen-Fabrik | Bonner Masch.-Fabrik Mönkemöller | Hendrick and Gilbert, Marchienne au pont | Marchienne au pont | Belgien |
| 2 | Girod | Ges. f. Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Société Anonyme John Coquerill | Seraing | „ |
| 3 | Héroult | Société Electrométallurgique française, Froges | Société Anonyme du Hainaut | Couillet | „ |
| 4 | „ | do. | Société Anonyme d'Ougrée Marihaye | Ougrée | „ |
| 5 | Bonner Maschinen-Fabrik | Bonner Masch.-Fabrik Mönkemöller | Rheinische Elektrostahlwerke | Bonn a. Rh. | Deutschland |
| 6 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 7 | Bronn | Rombacher Hüttenwerke A.-G. | | Rombach, Lothringen | do. |
| 8 | Gin | Ges. f. Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Friedrich Krupp A.-G. | Essen a. Ruhr | do. |
| 9 | Girod | Eisenindustrie | A. Stotz, Stuttgart | Stuttgart-Kornwestheim | do. |

[1]) Es wurden hier wie in der Tabelle stets die oberen Grenzen der Einsätze berücksichtigt. Dort wo genauere Angaben über die elektrische Kraft oder den

schnitt auf 1 t Einsatz 142 KW oder auf 1 KW 7 kg Einsatz. Die für die Roheisenerzeugung in den elektrischen Öfen aufgewendete Kraft ist 60 600 KW bei einem täglichen Ausbringen von insgesamt 508 t, das sind 120 KW pro Tagestonne oder 83 kg pro 1 KW-Tag. Die Größe der Ofeneinheiten schwankt zwischen 200 kg und 25 000 kg Einsatz. Der Spielraum des Fassungsvermögens ist demnach sehr groß und er kann noch nach oben und unten erweitert werden, so daß er dem praktischen Bedürfnis sehr gut angepaßt werden kann.

Das Anwendungsgebiet dürfte sich nach der Tabelle auf die Bereitung sämtlicher Eisenarten und deren Legierungen erstrecken lassen.

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehstrom | 200 | 1000 | Schmiedeschrot | Stahlguß | Im Bau |
| Einphasenstrom | 450 | 5000 | Flüssiger Thomasstahl | Werkzeugstahl, Spezialstahl für Bandagen, Autos etc. | — |
| do. | 700 | 5000 | Martin- und Thomaseisen | Mittlere Stahlqualitäten | — |
| do. | 700 | 5000 | do. | do. | — |
| do. | 1000 | 3000 | Schmiedeschrot | Stahlguß und Werkzeugstahl | — |
| do. | 1000 | 3000 | „ | do. | — |
| Drehstrom | — | 4000 | Festes Ferromangan | Flüssiges Ferromangan | — |
| Einphasenstrom | 700 | 6000 | Kalter Einsatz | Konstruktions- und Spezialstahl, Kriegsmaterial | — |
| do. | 300 | 2000 | „ | Stahlformguß | Außer Betrieb |

Einsatz nicht gegeben sind, wurden diese Größen schätzungsweise in Rechnung gebracht. Es konnten so in die obigen Werte sämtliche angeführten Öfen einbezogen werden.

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | Girod | Oberschlesische Eisenindustrie A.-G. für Bergbau und Hüttenbetrieb | | Baildonhütte | Deutschland |
| 11 | „ | Ges. f. Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Friedrich Krupp A.-G. Friedrich-Albert-Hütte | Rheinshausen Friemersheim | do. |
| 12 | „ | do. | Stahlwerk Becker | Krefeld-Willich | do. |
| 13 | „ | do. | Gute-Hoffnungs-Hütte | Oberhausen | do. |
| 14 | „ | do. | Friedrich Krupp A.-G. | Essen a. Ruhr | do. |
| 15 | „ | do. | Oberschlesische Eisenindustrie A.-G. | Gleiwitz | do. |
| 16 | Héroult | Stahlwerke Rich. Lindenberg, Remscheid | Rombacher Hüttenwerke A.-G. | Rombach, Lothringen | do. |
| 17 | „ | Elektrostahl-Gesellschaft Remscheid-Hasten | Deutsch-Luxemb. Bergw.-A.-G.-Abt. Dortmunder Union | Dortmund | do. |
| 18 | „ | do. | do. | „ | do. |
| 19 | „ | do. | Eisen- u. Stahlwerk Werner | Düsseldorf-Erkrath | do. |
| 20 | „ | do. | Stahlwerke Rich. Lindenberg A.-G. | Remscheid-Hasten | do. |
| 21 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 22 | „ | Stahlwerke Rich. Lindenberg, Remscheid-Hasten | Bismarckhütte in Oberschlesien | Bismarckhütte | do. |
| 23 | „ | do. | do. | — | do. |
| 24 | „ | do. | Mannesmann-Röhrenwerke, Düsseldorf | Gußstahlwerk Saarbrücken-Burbach | do. |
| 25 | „ | do. | Gewerkschaft Deutscher Kaiser | Hamborn-Bruckhausen | do. |
| 26 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 27 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 28 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 29 | „ | do. | do. | do. | do. |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehstrom | 550 | 8000 | Kalter Einsatz | Werkzeug- und Konstruktionsstahl | — |
| „ | 600 | 5000 | Ferromangan in Stücken | Flüssiges Ferromangan | — |
| Einphasenstrom | 400 | 3000 | Schrot kalt und flüssig | Werkzeugstahl | Außer Betrieb |
| do. | 400 | 3000 | Flüssiger Martinstahl | Qualitätsmaterial | — |
| Drehstrom 50 P | 1700 | 12 000 | Kalter Einsatz | Konstruktions- und Werkzeugstahl, Kriegsmaterial, Spezialstahle | — |
| Drehstrom | 1000 | 8000 | Kalter und flüssiger Schrot | Qualitätsmaterial | — |
| Einphasenstrom | 600 | 3500 | Flüssiges Thomas- und Martineisen | Eisenbahnschienen, Draht, Halbzeug | — |
| Drehstrom | 800 | 7000 | Flüssiger Thomasstahl | do. | — |
| „ | 800 | 7000 | do. | do. | — |
| „ | 500 | 2000 | do. | Stahlformguß | Im Bau |
| Einphasenstrom | 400 | 2500 | Flüssiges Martineisen, ausnahmsweise auch kalter Einsatz | Werkzeugstahl, Konstruktionsstahl, Kriegsmaterial | — |
| do. | 500 | 3000 | | | — |
| Einphasenstrom 110 V | 330 | 2000 | Flüssiges Martineisen | do. und hochsiliz. Dynamoblech, Lokomotivradreifen | — |
| do. | 660 | 4000 | Kalter Einsatz | | — |
| Wechselstrom 110 V | 450 | 3000 | Flüssiger Martinstahl | Nahtlose Rohre und Stahlformguß | — |
| Einphasenstrom | 800 | 7000 | do. | Qualitätsfeinblech | — |
| do. | 800 | 7000 | do. | „ | — |
| Drehstrom | 3000 | 25 000 | do. | „ | — |
| „ | 800 | 7000 | Ferromangan in Stücken | Flüssiges Ferromangan | Im Bau |
| „ | 800 | 7000 | do. | „ | „ |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger odre Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | Héroult | Stahlwerke Rich. Lindenberg, Remscheid-Hasten | Deutscher Kaiser | Bruckhausen | Deutschland |
| 31 | „ | do. | Stahlwerk Thyssen | Hagendingen, Lothringen | do. |
| 32 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 33 | Keller | Luxemburger Bergwerks- und Saarbrückener Eisenhütten-A.-G. Burbacherhütte | | Saarbrücken | do. |
| 34 | Nathusius | Westdeutsche Thomasphosphatwerke, Berlin | Oberschlesische Eisenbedarfs-A.-G. Friedenshütte | Friedenshütte | do. |
| 35 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 36 | „ | Westdeutsche Thomasphosphatwerke, Berlin | Hasper Eisen- und Stahlwerk | Haspe, Westfalen | do. |
| 37 | „ | „ | Ungenanntes Werk | Mitteldeutschland | do. |
| 38 | „ | „ | A.-G. Phoenix, Abt. Hoerder Verein | Hoerde, Westfalen | do. |
| 39 | „ | „ | Gebr. Stumm A.-G. | Neunkirchen a. Saar | do. |
| 40 | Stassano | Bonner Maschinen-Fabrik Mönkemöller | Rheinische Elektrostahlwerke | Bonn a. Rh. | do. |
| 41 | „ | do. | do. | „ | do. |
| 42 | „ | Eisenwerk J. D. Brackelsberg | | Milspe | do. |
| 43 | „ | „ | | „ | do. |
| 44 | Eigenes System | Phönix-A.-G. für Bergbau u. Hüttenbetrieb | Abt.: Hoerder Verein | Hoerde | do. |
| 45 | do. | do. | do. | „ | do. |
| 46 | Frick | Gesellsch. f. Elektrostahlanlagen-Berlin-Nonnendamm | Friedrich Krupp A.-G. | Essen a. Ruhr | do. |
| 47 | „ | do. | do. | „ | do. |
| 48 | Kjellin | Oberschlesische Eisen-Industrie A.-G. für Bergbau- und Hüttenbetrieb | | Baildonhütte | do. |
| 49 | „ | Ges. für Elektrostahlanlagen, Berlin-Nonnendamm | Oberschlesische Eisenindustrie-A.-G. | Gleiwitz | do. |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehstrom | 3200 | 30 000 | Flüssiger Einsatz | Mittlere Stahlqualitäten, Schienenmaterial | Im Bau |
| „ | 800 | 7000 | Flüssiges Thomaseisen und auch kalter Einsatz | Ferromangan | — |
| „ | 800 | 7000 | | Stahlformguß | — |
| Einphasenstrom | 450 | 3500 | Flüssiges Thomaseisen | Konstruktions- und Schienenstahl | — |
| Drehstrom | 750 | 5000 | Flüssiges Thomas- oder Martineisen | Qualitätsmaterial | |
| „ | 400 | 2500 | Kaltes Ferromangan | Flüssiges Ferromangan | |
| „ | 400 | 2500 | Kaltes Ferromangan | Flüssiges Ferromangan | Außer Betrieb |
| „ | 400 | 2500 | Fester und flüssiger Einsatz | Ferrolegierungen | — |
| „ | 1250 | 9000 | do. | Stahl | Im Bau |
| „ | 1500 | 12 000 | do. | do. | do. |
| Drehstrom 50 P | 200 | 1000 | Schmiedeschrot | Stahlguß und Werkzeugstahl | — |
| do. | 200 | 1600 | do. | do. | — |
| do. | 250 | 1200 | Flüssiger Martinstahl | Hochraffinierter Martinstahl | — |
| do. | 250 | 1200 | do. | do. | — |
| Drehstrom | 600 | 7000 | Flüssiger Martinstahl | Radbandagen und Schmiedeblöcke | — |
| do. | 1500 | 10 000 | do. | do. | Im Bau |
| Einphasenstrom 5 P | 700 | 11 000 | Kalter Einsatz | Konstruktions- und Spezialstahl, Kriegsmaterial | — |
| do. | 900 | 11 000 | „ | do. | — |
| Einphasenstrom 163 P | 190 | 1500 | Kalter Einsatz | Werkzeugstahl und Konstruktionsstahl | — |
| Einphasenstrom | 180 | 1500 | Kalter und flüssiger Schrot | Qualitätsmaterial | — |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 50 | Kjellin | Ges. für Elektrostahlanlagen, Berlin-Nonnendamm | Friedrich Krupp A.-G. | Essen a. Ruhr | Deutschland |
| 51 | Röchling-Rodenhauser | do. | Aachener Hüttenverein | Werk Rote Erde | do. |
| 52 | do. | do. | Eicken & Co. | Hagen | do. |
| 53 | do. | do. | Pilger & Neidhart | Frankfurt a. M. | do. |
| 54 | do. | do. | Peiner Walzwerk | Peine | do. |
| 55 | do. | do. | Stahlwerk Becker | Krefeld-Willich | do. |
| 56 | do. | do. | Bergische Stahlindustrie | Remscheid | do. |
| 57 | do. | do. | Röchling'sche Eisen- und Stahlwerke | Völklingen a. Saar | do. |
| 58 | do. | do. | do. | " | do. |
| 59 | do. | do. | do. | " | do. |
| 60 | do. | do. | do. | " | do. |
| 61 | Elektrometall | Kayser, Ellison & Co. Ltd. | | Sheffield | England |
| 62 | " | " | | " | " |
| 63 | " | Darwin & Millner | | " | " |
| 64 | Girod | Ges. für Elektrostahlanlagen, Berlin-Nonnendamm | Rubery, Owen & Co., South Staffs | Darlaston | " |
| 65 | Héroult | Sté Elektro-metallurgique française, Froges | Edgar Allen Co. | Sheffield | " |
| 66 | " | do. | " | " | " |
| 67 | " | do. | Vickers Sons and Maxina | " | " |
| 68 | " | do. | do. | " | " |
| 69 | " | Thos. Firth and Sons | | " | " |
| 70 | " | Lake and Elliot | | Braintree | " |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Einphasenstrom 5 P | 700 | 10 000 | Kalter Einsatz | Konstruktions- und Spezialstahl, Kriegsmaterial | Im Bau |
| Drehstrom | 500 | 4500 | Ferromangan in Stücken | Flüssiges Ferromangan | — |
| „ | 400 | 3000 | Flüssiger Martinstahl | Hochraffinierter Martinstahl | — |
| Einphasenstrom | 275 | 2000 | Kalter Einsatz | Stahlformguß | Außer Betrieb |
| Drehstrom | — | 4000 | Ferromangan in Stücken | Flüssiges Ferromangan | Im Bau |
| Einphasenstrom | 240 | 2000 | Schrott kalt und flüssig | Werkzeugstahl | — |
| do. | 500 | 5000 | Flüssiger Martinstahl | Qualitätsmaterial | — |
| Einphasenstrom 5 P, 5000 V | 750 | 12 000 | Flüssiger Thomasstahl | Werkzeugstahl | — |
| do. | 1000 | 15 000 | do. | do. | Im Bau |
| Drehstrom 50 P, 500 V | 250 | 1500 | Flüssiger und fester Einsatz | Schnelldrehstahl und andere hochlegierte Stähle | — |
| Drehstrom 50 P, 5000 V | 300 | 3000 | Ferromangan in Stücken | Einschmelzen von Ferromangan | — |
| Drehstrom 50 P | — | 2500 | Schrott | Spezialstahl | — |
| do. | — | 3500 | „ | do. | Im Bau |
| do. | — | 3500 | „ | do. | do. |
| Drehstrom | 500 | 3000 | Kalt | Stahlformguß | — |
| Einphasenstrom | 500 | 3000 | Flüssig. Martineisen oder kalter Einsatz | Werkzeugstahl | — |
| do. | 500 | 3000 | do. | do. | Im Bau |
| do. | 400 | 2500 | do. | Qualitätsmaterial | — |
| do. | 1000 | 8000 | Flüssig. Martineisen oder kalter Einsatz | do. | Im Bau |
| do. | 400 | 2500 | do. | Werkzeugstahl | — |
| do. | 400 | 2500 | Kalter Einsatz | Stahlformguß | — |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 71 | Héroult | The Skinningrove Iron Company | | Yorkshire, Carlin Howe | England |
| 72 | Stassano | Electro Flex Steel Company, Dunston on Tyne | | Dunston on Tyne | ,, |
| 73 | ,, | ,, | do. | do. | ,, |
| 74 | ,, | ,, | Armstrong, Whitworth & Co. Ltd. | Elswick | ,, |
| 75 | ,, | ,, | Worman Steel Castings Co. | Los Angelos | ,, |
| 76 | Stobie | Stobie Steel Co. Ltd, Sheffield | | Sheffield | ,, |
| 77 | ,, | ,, | | ,, | ,, |
| 78 | ,, | ,, | | ,, | ,, |
| 79 | ,, | ,, | | Dunston on Tyne | ,, |
| 80 | Kjellin | Ges. für Elektrostahlanlagen Berlin | Wm. Jessop and Sons | Sheffield | ,, |
| 81 | ,, | ,, | University | ,, | ,, |
| 82 | Chaplet | Société de Hauts-Fourneaux et Forges | | Allevard | Frankreich |
| 83 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 84 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 85 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 86 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 87 | ,, | Société la Neométallurgie | | — | do. |
| 88 | ,, | do. | | — | do. |
| 89 | ,, | do. | | — | do. |
| 90 | ,, | Société Electrotechnique du Giffre | | Saint-Icoire | do. |
| 91 | ,, | ,, | | ,, | do. |
| 92 | ,, | ,, | | ,, | do. |
| 93 | ,, | Société de Hauts-Fourneaux et Forges | | Allevard | do. |
| 94 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 95 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 96 | Girod | S. A. Elektrométallurgique Procédés Paul Girod | Cie. des Forges et Aciéries Electriques | Ugine, Savoyen | do. |
| 97 | ,, | do. | | do. | do. |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehstrom | 2000 | 15000 | Flußeisen aus dem Talbotofen | Mittlere Stahlqualitäten | Im Bau |
| Drehstrom 50 P | 250 | — | Kalt | Feine Güsse | — |
| do. | 250 | — | „ | do. | — |
| do. | 250 | — | „ | Spezialstahl | — |
| do. | 250 | — | „ | Feine Güsse | — |
| Drehstrom | 1500 | 15 000 | Fest und flüssig | Spezial- und Werkzeugstahl | — |
| Zweiphasenstrom | 600 | 5000 | „ | do. | — |
| Einphasenstrom | 40 | 300 | „ | Eisenlegierungen | — |
| Drehstrom | 10 000 | 15 000 | Erz | Roheisen | — |
| Einphasenstrom | 250 | 1800 | Kalt | Werkzeugstahl | — |
| do. | 50 | 300 | „ | Versuchschargen | — |
| do. | 400 | 5000 | Fester Einsatz | Eisen | — |
| do. | 400 | 500 | „ | „ | — |
| do. | 500 | 3000 | „ | Stahl | — |
| do. | 850 | 5000 | „ | „ | — |
| do. | 850 | 5000 | „ | „ | — |
| do. | 120 | 700 | „ | Eisenlegierungen | — |
| do. | 120 | 700 | „ | „ | — |
| do. | 120 | 700 | „ | „ | — |
| do. | 700 | 5000 | „ | „ | — |
| do. | 700 | 5000 | „ | „ | — |
| do. | 700 | 5000 | „ | „ | — |
| do. | 400 | 3500 | „ | Eisen | — |
| do. | 400 | 3500 | „ | „ | — |
| do. | 400 | 5000 | „ | „ | — |
| Drehstrom | 1600 | 12 000 | Kalter Schrot | Kriegsmaterial | — |
| „ | 1600 | 12 000 | „ | Spezialstähle | — |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 98 | Girod | S. A. Elektrométallurgique Procédés Paul Girod | Cie. des Forges et Aciéries Electriques | Ugine, Savoyen | Frankreich |
| 99 | ,, | do. | | do. | do. |
| 100 | ,, | do. | | do. | do. |
| 101 | ,, | do. | | do. | do. |
| 102 | ,, | Marcel Frères, Rive de Gier | | Rive de Gier | do. |
| 103 | Héroult | Société Electrométallurgique française, Froges | | La Praz | do. |
| 104 | ,, | Société Electromet. Française, Froges | Aciéries du Saut du Tarn | Saint Juéry | do. |
| 105 | ,, | Soc. Metall. de la Basse-Loire | | Trignac | do. |
| 106 | ,, | Société des Aciéries Electriques de Paris et de la Seine | | Paris | do. |
| 107 | ,, | Hauts-Fourneaux et Aciéries de Caen | | Caen | do. |
| 108 | Keller | Société des Etablissements Keller-Leleux, Livet | Jacob Holtzer & Cie., Forges et Aciériés d'Unieux | Unieux, Loire | do. |
| 109 | ,, | do. | do. | do. | do. |
| 110 | ,, | Société des Etablissements Keller-Leleux | | Livet | do. |
| 111 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 112 | ,, | do. | | ,, | do. |
| 113 | ,, | Ateliers de Construction Electriques du Nord et de l'Est | | Jeumont | do. |
| 114 | ,, | Institut Electrotechniques Laborotoire d'Electrométallurgie | | Grénoble | do. |
| 115 | Eigenes System | Société Anonyme des Aciéries et Forges | | Firming | do. |
| 116 | Röchling-Rodenhauser | Ges. f. Elektrostahlanlagen, Berlin-Nonnendamm | Aciéries de la Marine et d'Homecourt | St. Chamond | do. |
| 117 | Schneider | Schneider & Co. | | Le Creusot | do. |
| 118 | Eigenes System | Gassies u. Jeramec | Compagnie Chatillon Commentry et Neuves Maisons | Usines St. Jaques-Montluçon | do. |
| 119 | Girod | do. | Ansaldo Armstrong & Co. | Genua | Italien |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehstrom | 400 | 3000 | Kalter Schrot | Werkzeugstähle, Stahlformguß | — |
| „ | 400 | 3000 | „ | do. | — |
| „ | 300 | 2000 | „ | do. | — |
| „ | 300 | 1500 | „ | do. | — |
| Einphasenstrom | 600 | 5000 | Fest und flüssig | Konstruktionsmaterial und Spezialstähle | — |
| do. | 500 | 3000 | Kalter Einsatz | Werkzeugstahl | — |
| do. | 700 | 5000 | Kalt und flüssig | Qualitätsstahl | — |
| do. | 700 | 5000 | Fest und flüssig | Qualitätsmaterial | Im Bau |
| do. | 500 | 3000 | Kalter Einsatz | Stahlformguß | „ |
| Drehstrom | 2500 | 25 000 | Flüssiges Thomaseisen | Hochwertiger Qualitätsstahl | „ |
| Einphasenstrom | 750 | 8000 | Flüssiges Martineisen | Qualitätsstahl, Kriegsmaterial | Außer Betrieb |
| do. | 250 | 1000 | Kalt und flüssig | Stahlformguß | do. |
| do. | 200 | 1500 | Kalt | Qualitätsmaterial, Spezialstahl, Stahlformguß | — |
| do. | 450 | 3500 | „ | | — |
| do. | 80 | 200 | „ | Versuchschargen | — |
| do. | 450 | 3500 | Flüssiges Martineisen | Stahlformguß und Spezialstahl | — |
| do. | 100 | 300 | Kalt | Versuchschargen | — |
| do. | 850 | 5000 | Fester Einsatz | do. | — |
| Drehstrom | 350 | 3000 | Schrot | Qualitätsstahl, Werkzeugstahl | — |
| Einphasenstrom 42 P, 100 V | 250 | 1000 | Fester u. flüssiger Einsatz | Werkzeugstahl, Geschosse, Stahlformguß | — |
| do. 16 P | 300 | 1200 | Flüssiger Martinstahl | Qualitätsstahl, Werkzeugstahl | — |
| Drehstrom | 500 | 4000 | Kalter Schrot | Kriegsmaterial | — |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 120 | Héroult | Elektrostahl-Ges. Remscheid-Hasten | Società Tubi Mannnesmann | Dalmine | Italien |
| 121 | ,, | do. | do. | ,, | ,, |
| 122 | ,, | do. | do. | ,, | ,, |
| 123 | ,, | do. | do. | ,, | ,, |
| 124 | Stassano | Major Ingenieur Stassano | Giovanni Andrea Gregorini | Lovere | ,, |
| 125 | ,, | do. | do. | ,, | ,, |
| 126 | ,, | do. | Officina di Costruzione d'Artiglieria | Turin | ,, |
| 127 | ,, | do. | do. | ,, | ,, |
| 128 | ,, | do. | Fonderia Milanese | Acciais | ,, |
| 129 | ,, | do. | ,, | ,, | ,, |
| 130 | ,, | do. | Società Elba | ,, | ,, |
| 131 | Kjellin | Ges. f. Elektrostahlanlagen, Berlin-Nonnendamm | Altiforni Gregorini | Lovere | ,, |
| 132 | Héroult | Elektrostahlges. Remscheid-Hasten | Gelsenkirchner Bergwerk-A.-G. Esch | Werk Rote Erde | Luxemburg |
| 133 | Röchling-Rodenhauser | Ges. f. Elektrostahlanlagen, Berlin-Nonnendamm | Vereinigte Hüttenwerke Burbach-Eich-Dommeldingen | Werk Düdelingen | ,, |
| 134 | do. | do. | do. | — | — |
| 135 | do. | do. | do. | — | — |
| 136 | do. | do. | do. | — | — |
| 137 | Elektrometall | Eisenwerk | Tyssedal | Tyssedal | Norwegen |
| 138 | do. | ,, | ,, | ,, | ,, |
| 139 | do. | ,, | Arendal | Arendal | ,, |
| 140 | do. | ,, | ,, | ,, | ,, |
| 141 | Lorentzen | Eisenwerk Tinfos | | Tinfos | ,, |
| 142 | ,, | do. | | ,, | ,, |
| 143 | ,, | do. | | ,, | ,, |
| 144 | ,, | do. | | ,, | ,, |
| 145 | ,, | do. | | ,, | ,, |
| 146 | ,, | do. | | ,, | ,, |
| 147 | ,, | do. | | ,, | ,, |
| 148 | ,, | do. | | ,, | ,, |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Einphasenstrom | 900 | 6500 | Kalter Einsatz, Schrot u. Roheisen | Nahtlose Rohre | — |
| do. | 900 | 6500 | do. | „ | — |
| Drehstrom | 2000 | 15 500 | do. | „ | Im Bau |
| „ | 2000 | 15 500 | do. | „ | „ |
| „ | 300 | 1600 | do. Kalt | Feine Güsse und Spezialstahl | — |
| Drehstrom 50 P | 300 | 1600 | „ | do. | — |
| Drehstrom | 150 | 800 | „ | Stahl für Artilleriegeschosse | — |
| „ | 150 | 800 | „ | do. | — |
| „ | 200 | 1000 | „ | Feine Güsse | — |
| „ | 200 | 1000 | „ | „ | — |
| „ | 200 | 1000 | Flüssig | Spezialstahl | — |
| Einphasenstrom | 300 | 1600 | Schrot u. flüssiges Martineisen | Hochwertiges Qualitätsmaterial | — |
| Drehstrom | 500 | 4000 | Ferromangan in Stücken | Flüssiges Ferromangan | — |
| Einphasenstrom | 400 | 3500 | Flüssiger Martinstahl | Gewöhnliche und Spezialstahle | — |
| — | 400 | 3500 | do. | Stahlformguß | — |
| — | 400 | 3500 | do. | „ | — |
| Drehstrom | 275 | 2000 | do. | „ | Außer Betrieb |
| „ | 2600 | 25 t pro Tag | Erz | Roheisen | — |
| „ | 2600 | do. | „ | „ | — |
| „ | 2000 | 18 t pro Tag | „ | „ | — |
| „ | 2000 | do. | „ | „ | — |
| — | 1500 | 10 t pro Tag | „ | „ | Von diesen acht Öfen sind stets zwei in Reserve oder Reparatur |
| — | 1500 | do. | „ | „ | |
| — | 1500 | do. | „ | „ | |
| — | 1500 | do. | „ | „ | |
| — | 1500 | do. | „ | „ | |
| — | 1500 | do. | „ | „ | |
| — | 1500 | do. | „ | „ | |
| — | 1500 | do. | „ | „ | |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 149 | Hiorth | Direktor Hiorth, Kristiania | The Jossingfjord Manufacturing Company | Jossingfjord, Sogndal in Dalene | Norwegen |
| 150 | Röchling-Rodenhauser | Ges. für Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Stavanger Elektrostahlwerk-A.-S. | Stavanger | „ |
| 151 | Girod | Steirische Gußstahlwerke vormals Danner & Co. | | Judenburg | Österreich-Ungarn |
| 152 | „ | Ges. für Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Ternitzer Stahl- und Eisenwerke von Schoeller & Co. | Ternitz | do. |
| 153 | „ | do. | Böhler & Co., Wien | Werk Kapfenberg | do. |
| 154 | „ | do. | „ | „ | do. |
| 155 | „ | do. | Königl. ungarisches Eisen- u. Stahlwerk | Dyosgyör, Ungarn | do. |
| 156 | Héroult | Elektrostahl-Ges. Remscheid-Hasten | Steirische Gußstahlwerke vormals Danner & Co. | Judenburg | do. |
| 157 | „ | do. | Böhler & Co., Wien | Werk Kapfenberg | do. |
| 158 | „ | do. | Kärntnerische Eisen- und Stahlwerksgesellschaft | Ferlach, Kärnten | do. |
| 159 | „ | do. | Brüder Lapp | Rottenmann, Steiermark | do. |
| 160 | „ | do. | Witkowitzer Bergbau- u. Eisenhütten-Gesellschaft | Witkowitz | do. |
| 161 | „ | do. | do. | „ | do. |
| 162 | „ | do. | Königl. ungarisches Eisen- u. Stahlwerk | Dyosgyör, Ungarn | do. |
| 163 | Stassano | Elektro-Stassano-ofen-Gesellschaft, Wien | Leopold Gasser, St. Pöltener Weicheisen- und Stahlgießerei | St. Pölten | do. |
| 164 | „ | do. | do. | „ | do. |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Einphasenstrom $12^1/_2$ P | 500 | 5000 | Schwedisches Roheisen | Qualitätsstahl | — |
| Einphasenstrom 3700 V | 430 | 4000 | Schrot | do. | — |
| do. | 300 | 2000 | Kalter und flüssiger Einsatz | Hochwertiger Werkzeugstahl und Konstruktionsstahl | — |
| do. | 100 | 500 | Kalter Schrot | Qualitätsmaterial | — |
| Drehstrom | 1200 | 5000 | Flüssig. Martinstahl | Hochwertiger Qualitätsstahl | — |
| „ | 1200 | 5000 | „ | do. | — |
| Einphasenstrom | 400 | 2000 | Kalter Schrot | Kriegsmaterial, Stahlformguß und Werkzeugstahl | — |
| do. | 300 | 2000 | Kalter und flüssiger Einsatz | Hochwertiger Werkzeugstahl und Konstruktionsstahl | — |
| do. | 500 | 4000 | „ | Werkzeug- und Konstruktionsstahl | — |
| do. | 700 | 5000 | „ | Walzdraht | — |
| do. | 750 | 6000 | „ | Dynamo-, Stanz- und Feinbleche | — |
| Drehstrom | 800 | 7000 | Martineisen | Stahlformguß, nahtlose Rohre | — |
| „ | 400 | 2000 | Ferromangan in Stücken | Flüssiges Ferromangan | — |
| „ | 600 | 2000 | Kalter Schrot | Kriegsmaterial, Stahlformguß und Werkzeugstahl | — |
| „ 25 P | 300 | 1500 | Ia Bröckleisen, Holzkohlenroheisen, kalt | Stahlformguß und Automaterial | — |
| „ | 300 | 1500 | do. | do. | — |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 165 | Frick | Ges. für Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Poldihütte | Kladno | Österr.-Ungarn |
| 166 | Kjellin | do. | J. Brauns Söhne | Vöklabruck | do. |
| 167 | „ | do. | Poldihütte | Kladno | do. |
| 168 | Chaplet | Société de Briansk | | Briansk | Rußland |
| 169 | Girod | S. A. Elektromét. Procédés P. Girod Ugine | Putilowsche Stahlwerke | St. Petersburg | „ |
| 170 | „ | do. | Société Générale des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Russie | Usine de Makiewka | „ |
| 171 | Héroult | Elektrostahl-Ges. Remscheid-Hasten | Obuchowsche Stahlwerke | St. Petersburg | „ |
| 172 | „ | do. | Stahlwerk Makiewka | Makiewka | „ |
| 173 | „ | do. | A.-G. Sormowo | Sormowo | „ |
| 174 | Nathusius | Westdeutsche Thomasphosphatwerke, Berlin | A.-G. der Sosnowicer Eisenwerke | Sosnowice | „ |
| 175 | „ | „ | Wozniak und Söhne | „ | „ |
| 176 | Stassano | Eisenwerk J. J. Hoehn | | Odessa | „ |
| 177 | Röchling-Rodenhauser | Ges. f. Elektrostahlanlagen, Berlin-Nonnendamm | Kronwerke Slatoust | Slatoust | „ |
| 178 | Elektrometall | Eisenwerk Söderfors | St. Kopparberg Bergslags A.-G. | Eisenwerk Söderfors | Schweden |
| 179 | „ | Eisenwerk Domnarvfet | Eisenwerk Domnarvfet | Eisenwerk Domnarvfet | „ |
| 180 | „ | A.-G. Trollhättans Elektriska | | Masugn | „ |
| 181 | „ | „ | | „ | „ |
| 182 | „ | Uddeholms | Aktiebolag | Hagfors Jernverk | „ |
| 183 | „ | „ | „ | do. | „ |
| 184 | „ | „ | „ | do. | „ |
| 185 | „ | „ | „ | do. | „ |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Einphasenstrom | — | 13000 | Flüssig. Martinstahl | Hochraffinierter Martinstahl | Im Bau |
| do. | 65 | 500 | Schrot | Feilenstahl, Stahlbleche für den eigenen Bedarf | — |
| do. | 400 | 4500 | Flüssig. Martinstahl | Qualitätsmaterial | — |
| Drehstrom | 350 | 3000 | Flüssiger Einsatz | Spezialstähle | — |
| „ | — | 6000 | Flüssiger Thomasstahl | Kriegsmaterial, Spezialstahl | Im Bau |
| „ | — | 3000 | Fester und flüssiger Einsatz | do. | „ |
| Einphasenstrom | 500 | 3500 | Martin- od. Thomaseisen | Marine- und Kriegsmaterial | — |
| Drehstrom | 500 | 3500 | do. | Stahlformguß | — |
| Einphasenstrom | 500 | 3500 | do. | Stahlformguß und Kriegsmaterial | — |
| Drehstrom | 800 | 6000 | Fester Einsatz | Stahl | — |
| „ | 400 | 3000 | „ | Stahlformguß | Im Bau |
| Drehstrom 50 P | 250 | — | kalt | Feine Güsse und Spezialstahl | — |
| Drehstrom | 175 | 1000 | Schrot | Kriegsmaterial und Spezialstahl | Im Bau |
| Drehstrom 50 P | — | 2000 | Roheisen und Schrot | Qualitätsmaterial | — |
| Drehstrom 60 P | 3000 | Tages-Erzeugung in t 20 | Erz | Roheisen | — |
| Zweiphasenstrom 25 P | 2200 | 20 | „ | „ | — |
| do. | 2200 | 20 | „ | „ | Im Bau |
| Drehstrom 25 P | 2500 | 22—30 | „ | „ | — |
| do. | 2500 | 22—30 | „ | „ | — |
| do. | 2500 | 22—30 | „ | „ | — |
| do. | 2500 | 22—30 | „ | „ | Im Bau |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungs-ort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 186 | Elektrometall | Uddeholms | Aktiebolag | Hagfors Jern-verk | Schweden |
| 187 | „ | „ | „ | Nykroppa Jernverk | „ |
| 188 | „ | „ | „ | do. | „ |
| 189 | „ | „ | „ | do. | „ |
| 190 | „ | Versuchswerk Trollhättan | Jernkontoret | Trollhättan | „ |
| 191 | Helfenstein | Stora Kopparberg Bergslags Aktiebolag | | Falun | „ |
| 192 | Héroult | Elektrostahl Ges, Remscheid-Hasten | Aktiebolaget Héroults Elektriska Stal | Kortfors | „ |
| 193 | „ | do. | do. | „ | „ |
| 194 | „ | do. | A. B. Ljunjby Stalgjuteri | Ljunjby. | „ |
| 195 | Kjellin | Ges. für Elektro-stahlanlagen | St. Kopparberg Bergslags A.-G. | Domnarvfet | „ |
| 196 | „ | Sybry Searls Ltd. Trollhättan | | Trollhättan | „ |
| 197 | Girod | Ges. f. Elektrostahl-anlagen Berlin-Nonnendamm | Oehler & Co. | Aarau | Schweiz |
| 198 | „ | do. | „ | „ | „ |
| 199 | Héroult | Elektrostahl-Ges. Remscheid-Hasten | G. Fischer | Schaffhausen | „ |
| 200 | Bonner M.-F. | Bonner Maschinen-fabrik | Ajuria Hermanos | Alava | Spanien |
| 201 | Kjellin | Ges. f. Elektrostahl-anlagen Berlin-Nonnendamm | Urigoitia e Hija | Araya | „ |
| 202 | Girod | Société Anonyme Electrometall-urgique Procédés P. Girod | Bethlehem Steel Corporation | South Bethlehem | Vereinigte Staaten von Nord-amerika |
| 203 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 204 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 205 | „ | do. | Washington Iron Works | Seattle Washington | do. |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Drehstrom 25 P | 2500 | 22—30 | Erz | Roheisen | Im Bau |
| — | 3500 | 24 | „ | „ | — |
| — | 3500 | 24 | „ | „ | — |
| — | 3500 | 24 | „ | „ | — |
| Zweiphasenstrom | 3000 | 20 | „ | „ | — |
| Drehstrom | 6000 | 60—70 | „ | Roheisen, Rohmaterial für Martin- u. Thomasstahl | — |
| Einphasenstrom | 736 | 7000 | Kalter Einsatz | Werkzeugstahl, legierter Stahl | — |
| do. | 368 | 4000 | „ | do. | Im Bau |
| do. | 350 | 2000 | „ | do. | „ |
| do. | 175 | 1500 | Schrot | Werkzeugstahl | — |
| do. | 300 | 2000 | Kalt | Qualitätsstahl | Außer Betrieb |
| Einphasenstrom 86 V 40 P | 800 | 2000 | Kalter Schrot | Stahlformguß | — |
| do. | 800 | 2000 | „ | „ | — |
| do. | 700 | 1250 | Kalter Einsatz | „ | — |
| Drehstrom | — | 500 | Schmiedeschrot | Stahlguß | — |
| Einphasenstrom | 220 | 1500 | Schrot | Qualitätsmaterial | — |
| Drehstrom | — | 10 000 | Fest und flüssig | „ | Im Bau |
| „ | — | 10 000 | „ | „ | „ |
| „ | — | 2000 | „ | „ | „ |
| Einphasenstrom | — | 2000 | Kalt | Stahlformguß | „ |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 206 | Girod | Société Anonyme Electrométallurgique Procédés P. Girod | Portland Bronce and Crucible Steel Foundry | Portland, Oregon | Vereinigte Staaten von Nordamerika |
| 207 | „ | Ges. für Elektrostahlanlagen | Simonds Manufacturing Co. | Chicago | do. |
| 208 | „ | do. | do. | Lockport Newyork | do. |
| 209 | Héroult | United States Steel Corporation | American Wire and Steel Company | Worcester-Maas | do. |
| 210 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 211 | „ | do. | Halcomb Steel Company | Syracuse | do. |
| 212 | „ | do. | Firth Sterling Steel Comp. Mc. Keesport | Pennsylvania | do. |
| 213 | „ | do. | do. | — | do. |
| 214 | „ | do. | Illinois Steel Comp. | Joliet, South Chicago | do. |
| 215 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 216 | „ | do. | Crucible Steel Comp. of America | Harrison N.-Y. | do. |
| 217 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 218 | „ | do. | Latrobe Electric Steel Comp. | Latrobe, Pennsylvania | do. |
| 219 | „ | do. | E. B. Clarke, Buchanan Electric Steel Co. | Buchanan | do. |
| 220 | „ | do. | National Malleable Castings Co. | Sharon Pa | do. |
| 221 | „ | do. | General Electric Co. | Schenectady | do. |
| 222 | „ | do. | „ | do. | do. |
| 223 | „ | do. | Treadwell Engineering Co. | Easton Pa | do. |
| 224 | Stassano | Hees Steel Castings Company | | New-Jersey | do. |
| 225 | Colby | „ | Irvington Smelting and Refinining Co. | Irvington | do. |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Einphasenstrom | — | 1000 | Kalt | Stahlformguß | — |
| do. | — | 500 | „ | Qualitätsstahl | — |
| do. | — | 3000 | „ | „ | Im Bau |
| Drehstrom | 700 | 5000 | Martineisen | Stahlformguß | — |
| „ | 2000 | 15 000 | „ | Walzdraht | — |
| Einphasenstrom 25 P | 500 | 4500 | Flüssiges Roheisen | Werkzeugstahl Bleche, Draht | — |
| do. | 400 | 2500 | Martineisen | Werkzeugstahl | — |
| do. | 700 | 5000 | „ | „ | Im Bau |
| Drehstrom | 2000 | 15 000 | Bessemereisen | Eisenbahnschienen und Achsen | — |
| „ | 700 | 5000 | Ferromangan in Stücken | Flüssiges Ferromangan | — |
| „ | 700 | 5000 | Martineisen | Ersatz für Tiegelstahl, Eisenbahnschienen u. Achsen | Im Bau |
| „ | 2000 | 15 000 | Bessemerstahl, fest und flüssig | Qualitätsmaterial | Im Bau |
| „ | 700 | 5000 | Martineisen | „ | — |
| „ | 500 | 3000 | „ | „ | — |
| „ | 700 | 5000 | „ | Stahlformguß | — |
| „ | 700 | 5000 | „ | „ | — |
| „ | 400 | 2500 | „ | „ | — |
| „ | 500 | 3000 | „ | „ | — |
| Drehstrom | 250 | 1200 | Kalt | Stahlformguß | — |
| Einphasenstrom | — | 300 | Kalt und flüssig | Eisenlegierungen | — |

| Laufende Nummer | Ofensystem (Erfinder) | Erzeuger oder Konstrukteur | Besitzer | Aufstellungsort | Land |
|---|---|---|---|---|---|
| 226 | Frick | Ges. f. Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Eastern Metal Co. | New York | Vereinigte Staaten von Nordamerika |
| 227 | „ | do. | American Iron Steel Co. | Lebanon | do. |
| 228 | „ | do. | do. | do. | do. |
| 229 | Kjellin | do. | General Elektric Co. | Schenectady | do. |
| 230 | „ | Deere & Co. | Deere & Co. | — | do. |
| 231 | Röchling-Rodenhauser | Metallurgical Engineering Co | Crucible Steel Casting Co. | Milwaukee | do. |
| 232 | Héroult | Dr. Paul Héroult New York | Elektrometall S Ltd. | Welland | Kanada |
| 233 | „ | do. | do. | „ | „ |
| 234 | Kjellin | Elektrometalls Ltd. | | „ | „ |
| 235 | Héroult | Dr. Paul Héroult New York | Soc. Mexicana di Assero y Productos chimicos | Mexico | Mexiko |
| 236 | „ | do. | do. | „ | „ |
| 237 | Röchling-Rodenhauser | Ges. f. Elektrostahlanlagen Berlin-Nonnendamm | Ricardo Sloney | „ | „ |
| 238 | do. | do. | Kaiserliche Stahlwerke | Wakamatsu | Japan |

| Stromgattung | Vorhandene Kraft in KW | Einsatz kg | Art des Einsatzes | Art und Verwendung des Erzeugnisses | Anmerkung |
|---|---|---|---|---|---|
| Dreiphasenstrom | 400 | 2000 | Kalt | Eisenlegierungen | Im Bau |
| Einphasenstrom | — | 2000 | Flüssig | Qualitätsstahl | „ |
| do. | — | 2000 | „ | „ | „ |
| do. | 50 | 200 | Kalt | Versuchschargen | — |
| do. | 150 | 750 | „ | Qualitätsmaterial | — |
| do. | — | 2000 | „ | Stahlguß | — |
| do. | 200 | 500 | Kalter Einsatz | Versuchschargen | — |
| do. | 700 | 5000 | „ | Werkzeugstahl | Im Bau |
| do. | 150 | 750 | „ | „ | Außer Betrieb |
| do. | 500 | 4000 | Kalt und flüssig | Qualitätsmaterial | Im Bau |
| do. | 500 | 4000 | do. | „ | „ |
| Drehstrom | 300 | 2500 | Flüssiges Martineisen | „ | „ |
| „ | 500 | 3000 | Flüssiger Martinstahl | „ | — |

## III. Teil.

# Einteilung und Übersicht der bekannten Systeme von elektrischen Öfen zur Eisenerzeugung.

Nachdem im ersten Teil die geschichtliche Entwicklung der elektrischen Eisenerzeugung unter Besprechung der Ofensysteme niedergeschrieben wurde, soll im zweiten Teil eine in Schlagworten kurzgefaßte Übersicht über die bekannteren der verschiedenen Ofenarten gegeben werden. Dabei werden die Ofensysteme in verschiedene Gruppen und Unterabteilungen geteilt.

Wir wollen davon 3 Hauptgruppen unterscheiden und zwar:

I. Öfen, welche direkt in einen bestehenden Stromkreis eingeschaltet werden und diesen Strom zur Beheizung verwenden. Der Strom wird hier im Ofen selbst nicht transformiert, sondern kommt schon in transformiertem Zustand in denselben. Die Einschaltung in den Stromkreis geschieht mit Hilfe von Elektroden, welche bei einzelnen kleinen Öfen aus einfachen Kontakten bestehen können.

Diese Gruppe von Öfen soll kurz als Elektrodenöfen bezeichnet werden.

II. Öfen, bei welchen der in den Ofen geschickte Strom in demselben transformiert wird und der sekundäre Stromkreis des Ofens durch das Schmelzgut geht. Das Bad kann allein die sekundäre Wicklung bilden, oder es kann ein Schluß derselben durch einen Hilfsleiter nötig sein (II D).

Es wird also mittels eines Induktionsstromes geheizt und werden diese Öfen kurzweg Induktionsöfen zu nennen sein.

III. gibt es Induktionsöfen, bei welchen eine Hilfsheizung mittels Elektroden vorgesehen ist. Diese dient dem Zwecke, die Oberfläche besser zu erhitzen und eine reaktionsfähige Schlacke zu erzeugen, in welchem Falle beide Stromkreise gleichzeitig verwendet werden. Es können die beiden Ströme auch aufeinanderfolgend in Anwendung gebracht werden, z. B. um mit Hilfe des einen Stromes kaltes Gut zur Schmelze zu bringen und mit dem anderen zu raffinieren. Diese Öfen sollen Induktions-Elektrodenöfen heißen.

Zu I. Elektrodenöfen. Bei diesen sind Oberflächen- und Herdelektroden zu unterscheiden. Mit dem ersten Namen sollen

solche bezeichnet werden, welche entweder oberhalb der Badoberfläche aufgehängt sind oder auch von oben in das Schmelzgut hineinragen.

Hingegen sind Herdelektroden alle jene, welche quer durch die Herdwandung hindurchgehen oder in dieselbe hineingesteckt sind, sowie auch Polplatten, welche in die Herdwandung eingemauert werden. Bei der ersteren Art von Herdelektroden kann, bei der letzteren wird stets eine Schicht aus Materialien, welche in der Hitze leitend werden, über die Elektroden gegeben, um diese vor Beschädigung durch das Bad und die Schlacke zu schützen. Die Herdelektroden können sowohl im Boden als auch in der Herdwandung liegen. Wir wollen auch dann von Herdelektroden sprechen, wenn der Boden oder der ganze Herd als Elektrode ausgebildet ist.

Wenn Oberflächenelektroden nicht in das Bad eintauchen, dann werden Lichtbogen gebildet. Bleibt der Lichtbogen oberhalb des Bades, dann wird nur durch Strahlung beheizt; es wird die Wärme indirekt an das Bad abgegeben und soll dann die Lichtbogenerhitzung *indirekt* genannt werden.

Der Lichtbogen kann auch von der Elektrode durch die Schlacke in das Bad und wieder durch die Schlacke hindurch zur anderen Elektrode übergehen, wobei er in zwei Teile zerfällt. Die strahlende Wärme der Lichtbogen wird auch in diesem Falle eine sehr wichtige Rolle spielen, jedoch wird selbstverständlich auch eine, wenn auch vielleicht wenig wirksame Widerstandserhitzung in Bad und Schlacke eintreten. Der größere Teil des Stromes wird das metallische Bad und der geringere den größeren Widerstand, nämlich die Schlackenschicht durchfließen. Da der Lichtbogen direkt zum Bade überspringt, wollen wir hier von *direkter Lichtbogenerhitzung* sprechen.

Wenn die Elektroden in die Schlacke oder das Bad eintauchen oder zum größten Teil in demselben liegen, dann wird kein Lichtbogen gebildet und kann nur eine Erhitzung durch den Widerstand erfolgen, den die Beschickung bzw. das Bad dem Strome entgegensetzt. Diese Heizungsart wird demnach als *Widerstandserhitzung* bezeichnet.

Bei Herdelektroden werden Lichtbogen nicht gebildet; es wird der Widerstand des Schmelzgutes oder jener des Herdmateriales den Strom in Wärme umsetzen und wird so eine *direkte* oder im zweiten Falle eine *indirekte Widerstandsheizung* erfolgen. Im letzteren indirekt deshalb, weil die Herdwandung das Heizorgan bildet und die erzeugte Wärme durch Berührung an das Bad abgibt. Es ist natürlich, daß bei Öfen, bei denen der Strom von lediglich durch Leiter zweiter Klasse überdeckten, quer zur Wandung gestellten Elektroden in das Schmelzgut und durch dieses geht, beide Widerstandserhitzungen eintreten. Hier wird dann die direkte Widerstandserhitzung zumeist

die Hauptrolle spielen. Die Erhitzung findet jedoch in beiden Fällen nur durch die Wirkung von Widerständen statt und kann daher reine Widerstandserhitzung genannt werden.

Wenn Oberflächen- und Herdelektroden vorhanden sind und Lichtbogen gebildet werden, dann dürfte sowohl die Lichtbogen- als auch die Widerstandsbeheizung von Wichtigkeit sein und soll dann von Lichtbogen- und Widerstandserhitzung gesprochen werden.

Nicht ganz klar liegen die Verhältnisse in dem Falle, wo die Elektroden zwar nicht in das Bad eintauchen, aber vom Beschickungsmaterial ganz umgeben werden wie beim Helfenstein-Ofen. Es werden sich gewiß Lichtbogen zwischen den einzelnen Stücken der Beschickung bilden. Wir wollen jedoch annehmen, daß hier die Widerstandserhitzung die wichtigere ist und demnach auch diesen Fall unter reine Widerstandsheizung einreihen.

Zu II. Induktionsöfen. Der Eisenkern des Transformators, der Elektromagnet also, kann einen einfachen rechteckigen Rahmen bilden oder aus zwei aneinandergefügten Rechtecken bestehen. Dies ergibt ein einfaches oder ein doppeltes Magnetjoch.

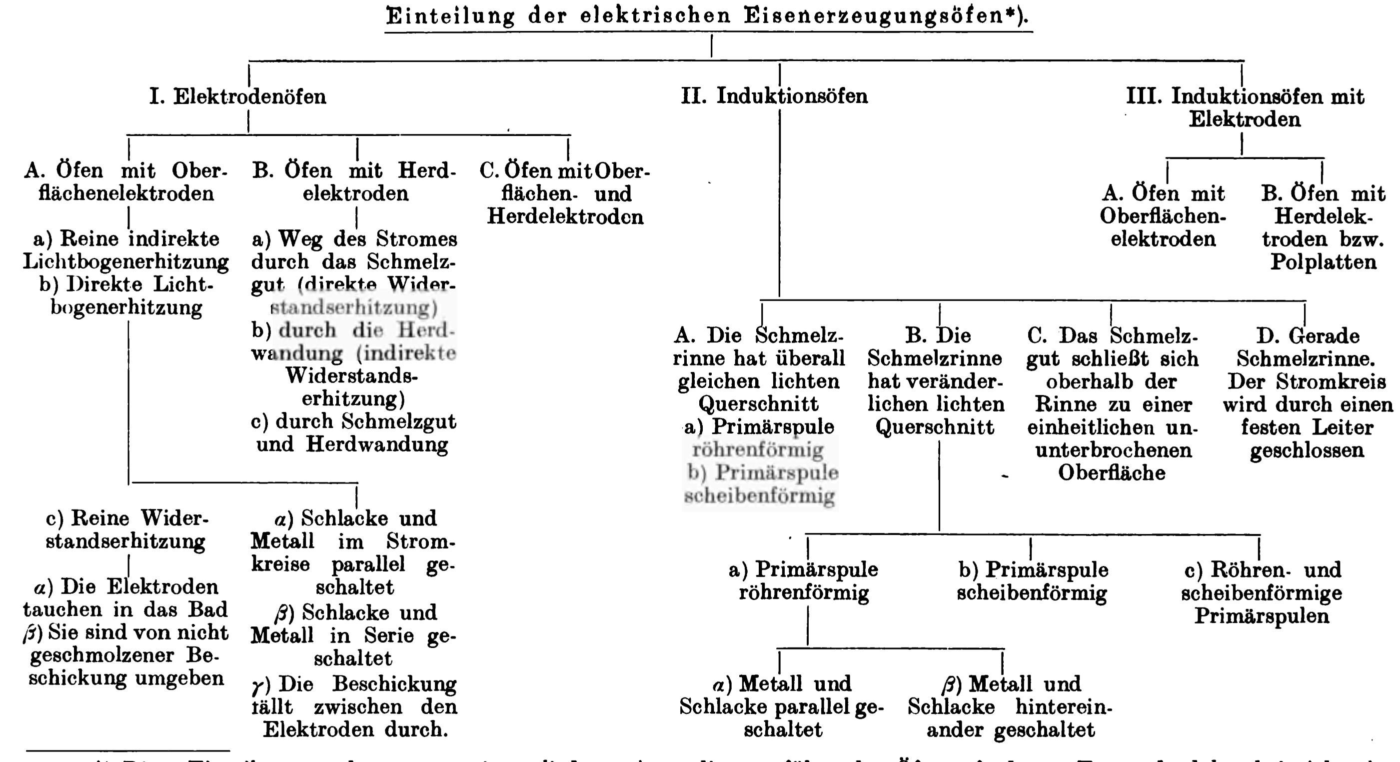
Die Windungen des primären Stromkreises auf dem Elektromagneten können in röhrenförmiger Gestalt aneinandergeschlossen werden, oder sie können auch eine flache ring- bzw. scheibenförmige Spule bilden.

Es sei daher von röhrenförmigen und scheibenförmigen primären Spulen gesprochen.

Von großer Wichtigkeit ist beim Induktionsofen der Widerstand des Schmelzgutes bzw. des Bades. Derselbe wird an allen Stellen annähernd derselbe sein, wenn der Querschnitt des Schmelzbades immer gleich groß bleibt und er wird sich verändern, wenn der Querschnitt der Schmelzrinne sich ändert. Im ersten Falle ist die Erhitzung eine gleichmäßige; im zweiten Falle ist sie zwar ungleichmäßig, es wird aber durch die verschieden starke Erhitzung der einzelnen Teile des Bades das Bestreben entstehen, eine Mischung des flüssigen Materials einzuleiten und wird so das Bad eine in sich selbst erzeugte Bewegung durchführen. Dies fördert die Homogenität des Erzeugnisses.

Beim Eichertschen Ofen haben die Herdwandungen Einbuchtungen, in welche die Fortsätze (Kernstümpfe) des Magnetes hineinragen. Das Bad bildet daher nicht eine gewöhnliche Rinne, sondern kann über die Einstülpungen des Herdes hinweggehen, so daß die Oberfläche ununterbrochen und die Manipulation an derselben eine vorteilhaftere wird. Auch erhält die Schlacke eine größere Reaktionsfläche. Nichtsdestoweniger bilden sich um die Kernstümpfe flüssige Metallringe, durch welche auch geschlossene Stromkreise erhalten werden.

Die Abteilung II D dürfte einer besonderen Erklärung nicht bedürfen. Hier wird der Schluß des Stromkreises dadurch bewirkt, daß




*) Diese Einteilung wurde nur so weit gegliedert, als es die anzuführenden Öfen erfordern. Es wurde daher beispielsweise eine weitere Zerlegung der Gruppen III A und III B nicht vorgenommen, da die Zahl der dort angeführten Öfen gering ist und die weitere Gliederung der Gruppen die Übersicht eher erschweren denn erleichtern würde.

die sich geradlinig erstreckende flüssige Metallmasse an beiden Enden mit dem eisernen Mantel der Rinne in leitende Verbindung tritt.

Unter III bemerkten wir, daß Induktionsöfen auch mit Elektrodenheizung versehen werden. Sie heißen sodann Induktionsöfen mit Elektroden oder kombinierte Elektroden-Induktionsöfen. Der Elektrodenstromkreis soll nicht nur zur Heizung der Beschickung, sondern auch zur Verminderung der Streuungserscheinungen im Transformatorofen dienen, das heißt, er soll die Energieverluste, welche durch Streuung der Kraftlinien entstehen, herabsetzen. Dies ist z. B. beim Röchling-Rodenhauser-Ofen der Fall.

Der Elektrodenstrom kann jedoch auch vornehmlich für die Heizung verwendet werden, wie z. B. beim Ofen der Rombacher Hüttenwerke. Hier soll der durch Oberflächenelektroden zugeführte Strom eine intensive Schlackenerhitzung erzeugen, um eine gut reaktionsfähige Schlacke zu erhalten. — Es wird bekanntlich als ein Mangel der Induktionsöfen angesehen, daß die Widerstandserhitzung des Induktionsstromes die Schlacke nicht so heiß macht, als dies wünschenswert wäre.

Nach Vorausschickung dieser Bemerkungen möge die Einteilung der Elektroeisenöfen in einer Übersichtstafel dargelegt werden, worauf die wichtigeren Elektroöfen zur Eisenerzeugung, entsprechend dieser Einteilung gruppiert, angeführt werden sollen.

Diese Übersicht über die Einteilung der Ofensysteme gibt uns gleichzeitig ebenso wie die nachfolgende Aufzählung der einzelnen Ofenkonstruktionen einen Fingerzeig dahin gehend, daß die Elektrodenöfen und hier wieder insbesondere jene mit Oberflächenelektroden die größte Beachtung gefunden haben. Tatsächlich sind diese auch, wie schon früher erwähnt, die am meisten verbreiteten.

## Die bekanntesten Ofentypen.

### I. Elektrodenöfen.

#### A. Öfen mit Oberflächenelektroden.

a) Reine indirekte Lichtbogenerhitzung. Fig. 181.

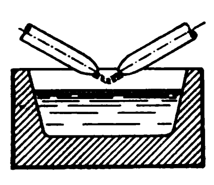


Fig. 181.

Stassano: 3 Elektroden schief durch die Ofenwandung in den Herd ragend. Der Boden kann geneigt, der ganze Ofen um eine vertikale Achse drehbar sein.

Birkeland und Eyde: Scheibenartiger Lichtbogen zwischen zwei horizontalen Elektroden im Felde zweier vertikal übereinanderstehender Magnete.

Imbert: Trommelartiger Tiegelofen mit Elektroden in der horizontalen Drehachse.

b) Direkte Lichtbogenerhitzung.

α) Schlacke und Metallbad sind im Stromkreise parallel geschaltet. Fig. 182.

Héroult: 2 (oder 3) Elektroden sind vertikal durch die Herddecke eingeführt.

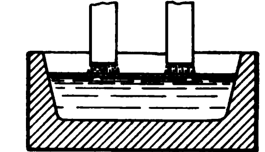


Fig. 182.

Keller: Schachtofen mit erweitertem Schmelzraum. Vertikale Elektroden durch die ringförmige Herddecke eingeführt.

Hoult: Kleiner Konverter mit Elektroden zum Nachfrischen.

Conrad: Martinofen mit zeitweise durch die Decke eingeführten vertikalen Elektroden, welche nur zum Nachfrischen verwendet werden.

Grönwall, Lindblad und Stalhane: Elektroden schief durch die Herddecke. Der Strom geht durch das Bad und die herabfallende Beschickung unter Lichtbogenbildung.

β) Schlacke und Metall hintereinandergeschaltet.

Gin: Ofen mit drei Herden, welche durch Kanäle verbunden und hintereinandergeschaltet sind.

Chaplet & La Néo-Metallurgie: Eine Elektrode oberhalb des Bades bildet einen Lichtbogen; die zweite am Ende eines Kanals, der an den Herd anschließt, berührt das im Kanal befindliche Metall.

Keller: Ofen aus zwei Herdräumen mit je zwei Oberflächenelektroden, Herde unten durch Kanal verbunden.

Chaplet: 2 Herde mit je einer Elektrode, durch Kanal verbunden.

Metzger: Ofen aus 3 Herden mit Oberflächenelektroden, in der Tiefe leitende Verbindung der drei Schmelzräume durch in die Scheidewände eingebaute Leiter.

γ) Die Beschickung fällt zwischen den Elektroden durch.

Pichou-Johnson: Schachtofen mit horizontalen Elektroden.

c) Reine Widerstandsheizung.

α) Die Elektroden tauchen in das Bad.

Taussig: Horizontale Rinne mit Elektroden an beiden Enden.

Gin: Lange gewundene Rinne mit Elektroden an den Enden.

Ruthenburg: Schachtofen; die Elektroden des Schmelzherdes tauchen in die Schlacke.

β) Elektroden, von nicht geschmolzener Beschickung umgeben.

Bronn: Elektroden, in einem Beschickungstrichter seitlich eingelegt.

Helfenstein: Elektroden im Beschickungsschacht.

1. Ofen: Herdofen, jede Elektrode in einem Schacht. Elektroden in einer Reihe hintereinander.

2. Ofen: Kupol- oder Hochofen, von Herdöfen umgeben, jeder Herd hat eine Elektrode. Stromübergang von einem Herd zum gegenüberliegenden durch Kanäle und den Schmelzraum des Kupol- bzw. Hochofens.

Lyon: Elektroden durch die Decke schief in das Innere des Schmelzraums gesteckt; sie ragen in den Beschickungskegel hinein.

γ) Elektroden ragen in die feste Beschickung und ins Schmelzbad.

Harmet: Schachtofen. Elektroden, schief durch die Kehlung in den Schmelzraum eingeführt, tauchen in die Schlacke.

B. Öfen mit Herdelektroden. Widerstandserhitzung. Fig. 183.

a) Der Strom geht durch das Schmelzgut.

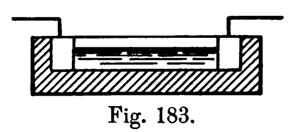


Fig. 183.

de Laval: Zweiteiliger Herd, jeder Teil hat eine Elektrode, die Scheidewand wird von Magneteisenstein als Erhitzungswiderstand überdeckt.

Conley: 2 Kränze von horizontalen Elektroden, ins Mauerwerk des Schachtofens eingelegt.

Ruthenburg: Elektroden in der Wandung und im Boden des Herdofens mit seitlichem Vorratsschacht.

Gin: Das Schmelzbad wechselt den vom Strom durchflossenen Querschnitt, daher auch Änderung des elektrischen Widerstandes. Elektroden an den beiden Enden des Schmelzbades.

Verschiedene Ausführungsarten: 1. Schmelzrinne mit wechselndem Querschnitte; 2. Herde und Kanäle folgen abwechselnd aufeinander.

b) Weg des Stromes durch die Herdwandung bzw. durch Erhitzungswiderstände derselben. Indirekte Widerstandserhitzung.

Keller, Girod, Helberger usw.: Öfen mit in die Herdwandung eingebauten Elektroden.

Kryptolsystem: Heizungswiderstände um die Wand des Tiegelofens, patentierte Widerstandsmasse, keine eigentlichen Elektroden, sondern Kontakte.

Ischewsky: Trommelartiger Schmelzraum mit horizontaler Zylinder- bzw. Drehachse. Elektroden in die mit Leitern zweiter Klasse ausgekleidete Trommelwand eingebaut. Bildung elektrischer Strahlenbüschel, sogenannter Jablochkoffscher Kerzen.

Härdén: Konverterfrischofen mit Elektroden in der Wand.

c) Der Strom geht durch Schmelzgut und Ofenwandung. Direkte und indirekte Widerstandserhitzung.

Deutsche Quarz-Gesellschaft: Kreuzförmiger Herdofen mit Elektroden an den vier Enden. Der Strom fließt in zwei aufeinander senkrechten Richtungen und am Herdrande sowie in der Wand, welche aus Leitern zweiter Klasse besteht.

## C. Öfen mit Oberflächen- und Herdelektroden. Lichtbogen und Widerstandserhitzung. Fig. 184.

Siemens: Schmelztiegel, eine Elektrode oberhalb des Bades und eine im Boden.

Girod: Eine Elektrode oben und mehrere (acht) in der Wandung am Rande des Herdbodens. Die Herdelektroden aus Stahl ragen frei in den Schmelzraum oder sind von Leitern zweiter Klasse überdeckt.

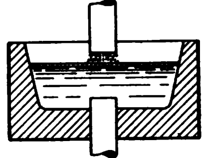
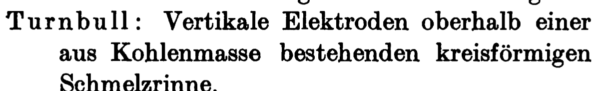


Fig. 184.

Keller: Oberflächenelektroden, der Boden des Herdes ist als Elektrode ausgebildet, er besteht aus Material gemischter Leitfähigkeit.



Turnbull: Vertikale Elektroden oberhalb einer aus Kohlenmasse bestehenden kreisförmigen Schmelzrinne.

Trillon & Giffre: 2 Oberflächenelektroden, zwischen diesen eine nicht bis zum Boden reichende Scheidewand, unter dieser in der Mitte des Herdbodens eine Bodenelektrode.

Grönwall, Lindblad & Stalhane: 2 Oberflächenelektroden und eine von Leitern zweiter Klasse umgebene Bodenelektrode.

Westdeutsche Thomasphosphatwerke: Oberflächen- und Bodenelektroden. Die Oberflächenelektroden werden zeitweise ausgeschaltet.

Nathusius: 3 Oberflächen- und 3 Bodenelektroden, letztere mit Leitern zweiter Klasse überdeckt. 2 Drehfelder und direkter Stromübergang zwischen oberen und unteren Polen. Direkte Lichtbogenerhitzung, direkte und indirekte Widerstandserhitzung. Die Oberflächen- und die Bodenelektroden können getrennt oder gleichzeitig in Anwendung kommen.

Paragon: 3 Oberflächenelektroden und 3 Polplatten in der Herdwandung. Sonst wie Nathusius.

von Schatzl-Krieger: Ringförmiger, um die horizontale Zylindermantelachse drehbarer Herd mit eingeschobenem hohlen Deckenkörper. Oberflächenelektroden durch letzteren eingebracht, Bodenelektroden über den ganzen Umfang des Herdringes verteilt. Betrieb entweder mit Oberflächenelektroden allein oder mit Oberflächen- und Herdelektroden.

Härdén: Oberflächen- und Herdelektroden. Letztere bestehen aus Leitern zweiter Klasse, einer Kohleschicht und einer Metallplatte und sind ganz in die Herdwandung eingebettet. Lichtbogenerhitzung, direkte und indirekte Widerstandserhitzung.

Lorentzen: Eine sehr breite Oberflächenelektrode und eine Bodenelektrode. Erstere soll im Herdinnern von fester Beschickung umgeben sein, so daß vornehmlich Widerstandserhitzung erfolgt.

## II. Induktionsöfen.

### A. Die Schmelzrinne hat überall gleichen lichten Querschnitt. Metall und Schlacke im Stromkreise parallel geschaltet. Fig. 185.

a) Primärspule röhrenförmig.

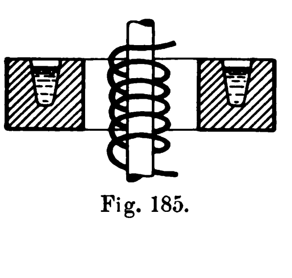


Fig. 185.

Colby: Primär- und Sekundärkreis exzentrisch, Primärspule außen. Magneteisen bildet ein Doppeljoch. Manteltransformator. Fig. 186.

Kjellin: Stromkreise konzentrisch, Schmelzrinne außen. Kerntransformator. Es kann

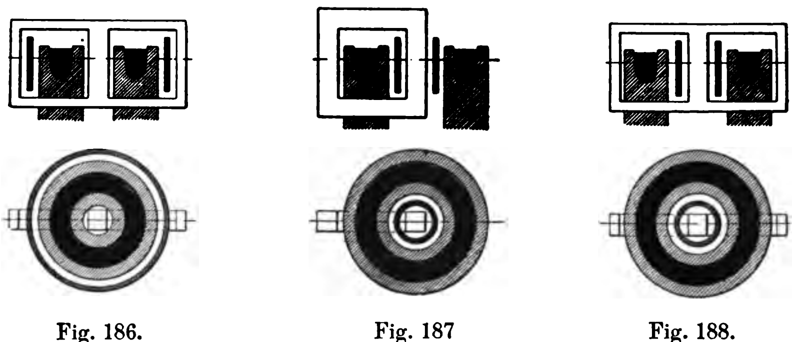


Fig. 186. Fig. 187 Fig. 188.

1. das Magneteisen als einfaches Joch, Fig. 187.
2. als Doppeljoch ausgebildet sein. Fig. 188.

Hiorth 1. Ofen: Stromkreise exzentrisch, Magneteisen bildet ein einfaches Joch. Der von der Primärspule umschlossene Kern ist fest, der übrige Teil des Magneten kann abwechselnd links und rechts angeschlossen werden, um mit zwei verschiedenen Rinnen abwechselnd arbeiten zu können.

Hiorth 2. Ofen: Schmelzrinne spiralig gewunden. Einfaches Magnetjoch.

b) Primärspule scheibenförmig.

de Ferranti: Flache Primärspulen oberhalb und unterhalb der Schmelzrinne. Magneteisen als Doppeljoch ausgebildet. Abart: Rotierendes Magnetfeld.

Frick: Eine Spule oben und eine unten. Das Magneteisen bildet ein einfaches Joch. Abart: Deckel aus einem Stück, Herd und Deckel gegeneinander verdrehbar.

B. Die Schmelzrinne bzw. der in ihr befindliche Leiter hat an verschiedenen Stellen verschieden großen Querschnitt.

a) Primärspule röhrenförmig.

α) Metall und Schlacke sind im Stromkreise parallel geschaltet.

Schneider: Primärspule exzentrisch zur aus Herd und Kanälen bestehenden Schmelzrinne, Magneteisen ist ein einfaches Joch. Neigung des Bodens von Herd und Kanal zwecks Umlaufes des Schmelzgutes. Rotierender Feldmagnet statt Dynamo.

Gin: Schmelzrinne besteht aus 2 rechteckigen Herden und 2 Verbindungskanälen. Die Böden der beiden Herde in entgegengesetzter Richtung vertieft. Primärspule und Schmelzrinne konzentrisch; erstere innen. Das Magneteisen bildet ein Doppeljoch.

Vereinigte chemisch-metallurgische und metallographische Laboratorien: Herd erhält durch bügelförmig nach abwärts gehenden, an beiden Herdenden anschließenden Kanal einen geschlossenen Stromkreis. Das Magneteisen bildet ein einfaches Joch um den Kanal.

Röchling: Schmelzherd mit 2 Schmelzrinnen. Einfaches Magnetjoch.

β) Metall und Schlacke sind im Stromkreise in Serie geschaltet.

Wallin: Ringförmige Rinne in vertikaler Ebene, im oberen Teil des Ringes nur Schlacke, im unteren kanalartigen Teil nur Metall. Abart: Seitliche Erstreckung der Schleife (Ring) zwecks leichter Anbringung des einfachen Magnetjoches um den Fortsatz.

b) Primärspule scheibenförmig.

Hiorth: Schmelzherd mit 2 Rinnen, Spulen oberhalb und unterhalb des Bades. Einfaches Magnetjoch. Abart: Die oberen Spulen haben kleineren Durchmesser als die unteren.

Söderberg: wie Hiorth. Herd durch Scheidewand in 2 Rinnen geteilt, welche an den Enden verbunden sind.

c) Röhren- und scheibenförmige Primärspulen.

Frick: Doppelrinnenofen. Scheibenspulen oberhalb und unterhalb, Röhrenspulen innerhalb der Herdringe.

C. Das Schmelzgut schließt sich oberhalb der Rinnen oder des Herdes zu einer einheitlichen und ununterbrochenen Oberfläche.

Eichert: Kernstümpfe des Magneten ragen vom Boden oder der Seite aus in das Herdinnere. Durch die entsprechenden Einstülpungen der Wandung Teilung des Herdes in Rinnen.

D. Gerade Schmelzrinne; der Stromkreis wird durch einen festen Leiter geschlossen.

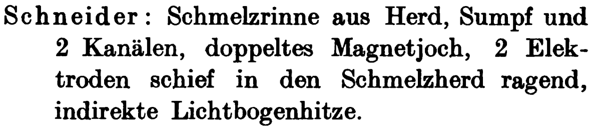
Helfenstein: Der feste Leiter wird durch die Eisenumkleidung der Schmelzrinne gebildet.

## III. Induktionsöfen mit Elektroden.

### A. Öfen mit Oberflächenelektroden.

Hiorth: Die Schmelzrinne ist durch eine feuerfeste Einlage unterbrochen. Über derselben eine nur in die Schlacke eintauchende Elektrode.

Hiorth: Ein Elektrodenbügel taucht in die Schlacke ein und schließt mit dieser und dem flüssigen Metall die sekundäre Windung. Fig. 189.



Schneider: Schmelzrinne aus Herd, Sumpf und 2 Kanälen, doppeltes Magnetjoch, 2 Elektroden schief in den Schmelzherd ragend, indirekte Lichtbogenhitze.

Gin: Rinnenofen mit Elektroden über den stellenweisen Erweiterungen derselben.

Mulacek & Hatlanek: Kreisförmige Schmelzrinne. Oberflächenelektroden zwecks Einschmelzens von kaltem Einsatz. Die beiden Stromkreise arbeiten abwechselnd.

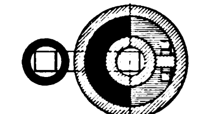


Fig. 189.

Waldo: Ebenso. Abwechselndes oder gleichzeitiges Arbeiten der beiden Stromkreise.

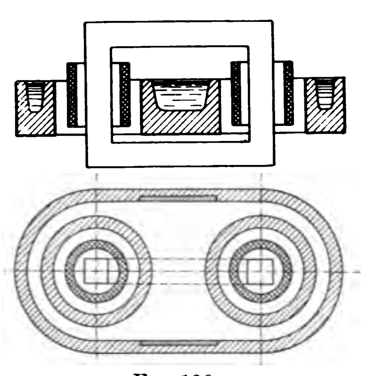


Fig. 190.

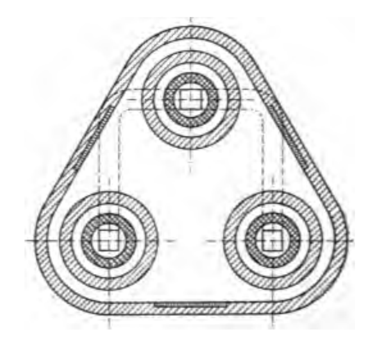


Fig. 191.

Rombacher Hüttenwerke: Schmelzgut durch Induktionsstrom, Schlacke durch Elektrodenstrom erhitzt. Gleichzeitiges Arbeiten beider Stromkreise.

## B. Öfen mit Herdelektroden bzw. Polplatten in der Herdwandung.

Röchling-Rodenhauser: 2 oder 3 in sich geschlossene Rinnen mit gemeinschaftlichem Arbeitsherd. Plattenförmige Elektroden in der Herdwandung von Leitern zweiter Klasse überdeckt. Die Stromkreise arbeiten gleichzeitig. Einfaches oder doppeltes Magnetjoch. Fig. 190, 191.

Röchling-Rodenhauser: Trogförmiger Herd, Magnetjoch um denselben. Polplatten im Herdboden nahe den Trogenden mit nach aufwärts stehenden Metallstiften. Die beiden Stromkreise arbeiten gleichzeitig.

## IV. Anhang.

# Der drehbare Elektroofen System v. Schatzl-Krieger.

Schatzl von Mühlfort berichtet in seinem Aufsatze „Elektroeisen“ über einen Ofen, der in der Literatur bisher fast unbekannt ist. Demselben sollen aus diesem Grunde und um seiner Originalität willen einige gesonderte Zeilen gewidmet werden, soweit dies im Rahmen dieses Buches tunlich ist. Der Ofen ist in den Patentarchiven unter der Bezeichnung „Drehbarer Elektroofen System von Schatzl-Krieger“ eingetragen und ist eine Idee Schatzls.

Diese Erfindung ist ein Elektrodenofen, der aus zwei Teilen besteht: aus einem um eine fixe Achse drehbaren ringförmigen Schmelzherde und aus einem Ständer, welcher den Deckel ersetzt.

Der Schmelzherd wird durch einen Hohlring gebildet, der aus Stahlblech besteht und mit feuerfestem Material ausgekleidet ist. Er teilt sich in drei oder vier Teile, von denen jeder für sich als Herd und zwar je immer einer allein, zur Verwendung gelangt.

In jedem dieser Herde sind Stahlelektroden eingebaut, deren Mittellinien den Kreisumfang des Herdringes in gleiche Teile teilen. Das dem Hohlraume zugekehrte Ende einer Elektrode ist ähnlich der Wabe eines Bienenstockes ausgebildet, das äußere Ende dagegen mit Rippen versehen, mit deren Hilfe eine wirksame Wasserkühlung der Stahlpole durchgeführt werden kann. Fig. 194.

Damit die Stahlelektroden durch das Schmelzgut und die Hitze nicht zu sehr angegriffen werden, wird in die wabenförmigen Hohlräume feuerfestes Material, gemischt mit einem Schlackenbildner, oder, wenn Kohlung verlangt wird, kohlehaltiges Futter eingestampft. Die Herdelektroden können auch vertieft angebracht werden, so daß die Auflage einer Schichte aus Leitern zweiter Klasse möglich ist.

Um den Hohlring drehen zu können, ist er außen mit kreisrund gebogenen Laufschienen armiert, welche auf Rollen laufen. Fig. 195. Die Drehung wird durch einen Zahnkranz ermöglicht, in den die Antriebszahnräder eingreifen, oder durch direkten Antrieb der Rollen.

Auf der frei zugänglichen Seitenfläche des Hohlringes befinden sich die Abstichlöcher; unter dem Ringe ist die erwähnte Kühlungsvorrichtung für die Stahlelektroden angebracht. Den jeweilig vom

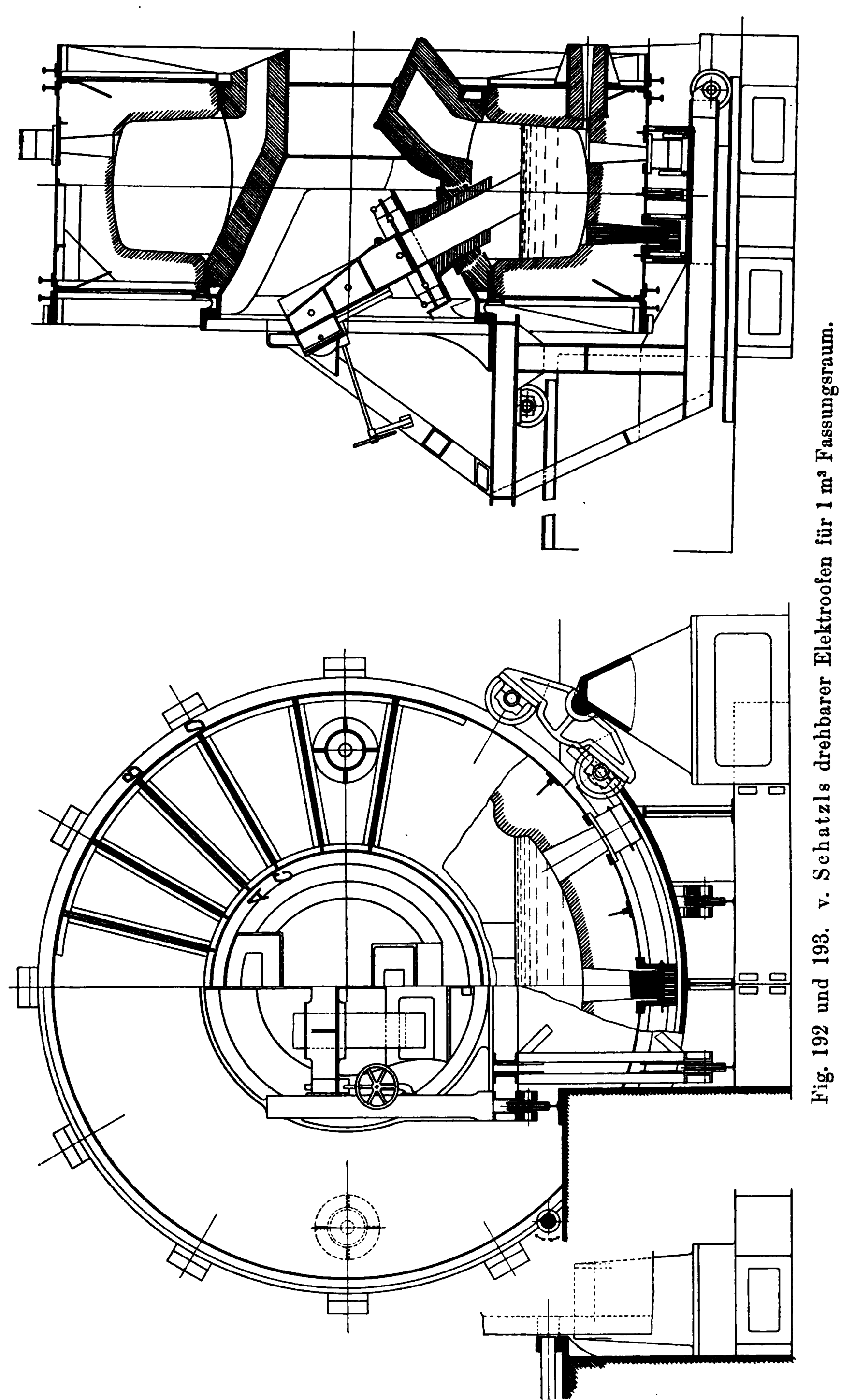


Fig. 192 und 193. v. Schatzls drehbarer Elektroofen für 1 m³ Fassungsraum.

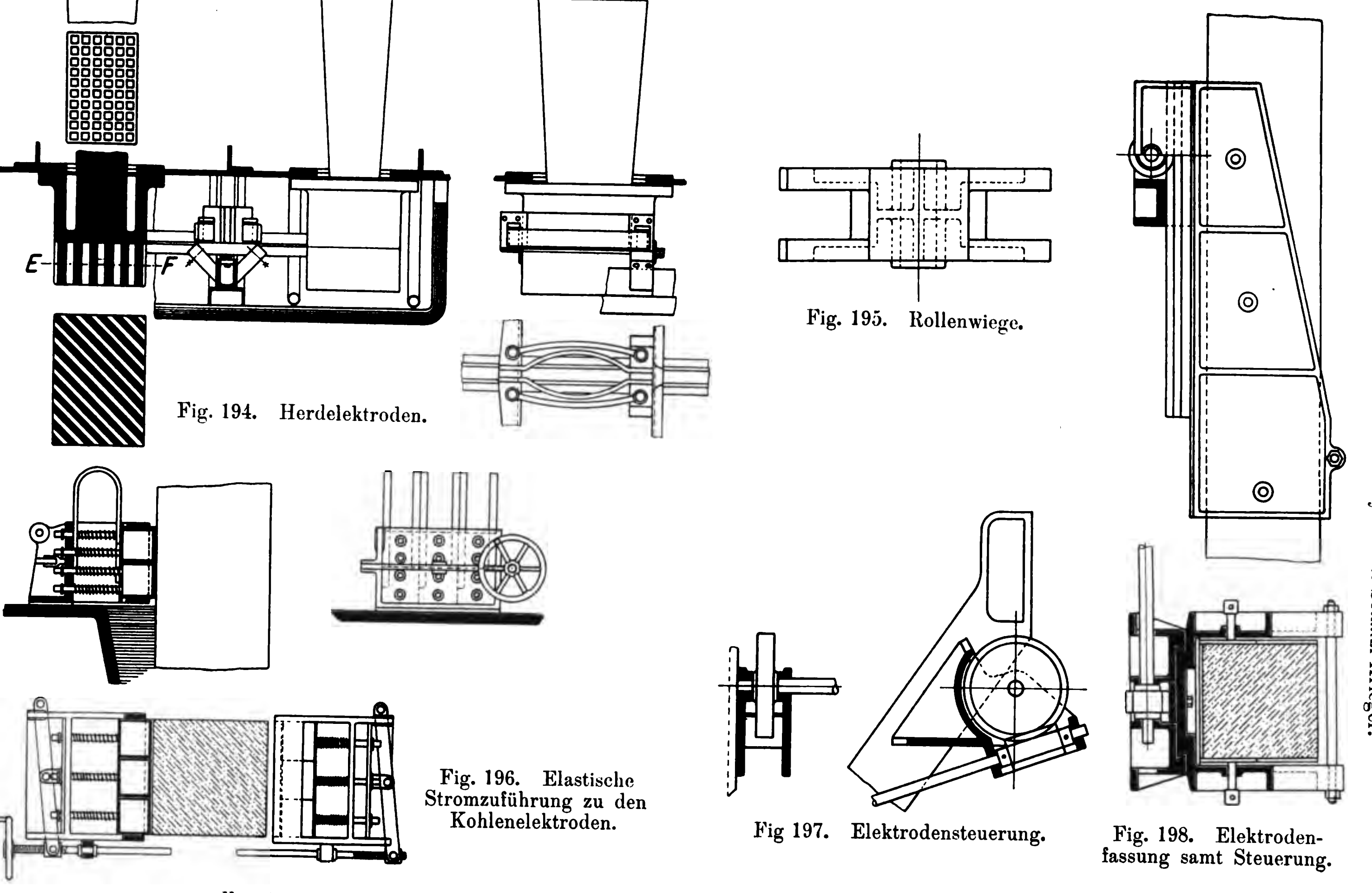



Fig. 194. Herdelektroden.

Fig. 195. Rollenwiege.

Fig. 196. Elastische Stromzuführung zu den Kohlenelektroden.

Fig 197. Elektrodensteuerung.

Fig. 198. Elektrodenfassung samt Steuerung.

Fig. 194 bis 198. v. Schatzl. Details zum drehbaren Elektroofen für 1 m³ Fassungsraum.

Schmelzgute berührten Stahlpolen wird der Strom durch einen gelenkigen Schleifkontakt von einer unterhalb des Ringes befindlichen Kontaktschiene aus zugeführt.

Es kann entweder der Herdring oder der Deckenkörper in der Richtung der Drehachse verschoben werden, um das Innere des Ofens für Reparaturzwecke zugänglich zu machen.

Der vom Herde abziehbare Ständer ist ein separat gelagerter Hohlkörper aus feuerfestem Material mit Eisenpanzerung, der in der Betriebsstellung den Heizraum nach außen abschließt. Er trägt die Kohlenelektroden und enthält die Beschickungs- und die Beobachtungsöffnung.

Oben ist ein Gasabzugrohr angebracht, welches die Abfuhr der Heizgase und ihre allfällige weitere Ausnutzung ermöglicht. Eine am Ständer befestigte Plattform dient der Wartung des Ofens und insbesondere der Elektroden während der Schmelze.

Die Stromzuführung zu den vom Ständer getragenen Kohlenelektroden kann knapp oberhalb der Austrittsstelle der letzteren aus dem Ofen durch gekühlte Schleifkontakte erfolgen. Fig. 196. Dadurch kann dem bei anderen Elektrodenöfen bestehenden Übelstande der zu Störungen Anlaß gebenden langen Zuleitungsdrähte abgeholfen werden. Auch tritt der Energieverlust durch nutzlose Erwärmung des größten außerhalb des Ofens befindlichen Kohlenteiles nur in sehr beschränktem Maße ein. Der drehbare Elektroofen ist jebei der beliebigen Stromgattung verwendbar.

Die Regulierung der Kohlenstellung kann auf verschiedene Arten geschehen, z. B. durch ein in Prismenführung bewegtes Klemmstück derart, daß die Kohle während des Betriebes ohne jedwede Unterbrechung desselben angestückelt werden kann. Fig. 197 und 198.

In dem mit Erzen, kaltem oder flüssigem Metalle beschickten Ofen kann der elektrische Strom auf zwei verschiedene Arten zur Wirksamkeit gebracht werden:

1. durch Lichtbogen- und Widerstandserhitzung bei hintereinander geschalteten Kohlenelektroden und Lichtbögen, wodurch besonders die an der Oberfläche zwischen den Polen liegenden Partien des Schmelzgutes und die Schlacke eine bedeutende Erwärmung erfahren, — Oberflächenerhitzung.

2. durch Lichtbogen- und Widerstandserhitzung bei parallel geschalteten Elektroden und Lichtbögen, wodurch das ganze Schmelzgut nach der Tiefe gleichmäßig erwärmt wird — fächerförmig wirkende, die Richtung stetig ändernde Massenerhitzung.

Diese ist besonders dann anzuwenden, wenn kaltes Material eingeschmolzen werden soll, indessen die Oberflächenerhitzung vornehmlich zur Raffination von flüssigem Einsatz bestimmt ist.

In diesem Ofen sind beide Verfahren in unmittelbarer Aufeinanderfolge anwendbar, und dürfte derselbe in seiner allgemeinen Verwendbarkeit sowohl zur Erschmelzung der Metalle aus Erzen, wie auch zur Herstellung hochwertiger Legierungen und zum Raffinieren gleich gut geeignet sein.

Die für die beiden aufeinanderfolgenden Prozesse benötigte verschiedene Stromspannung wird durch einfaches Umschalten eines Transformators erhalten.

Durch langsames Hin- und Herdrehen, also Schaukeln des Ofens, wird bewirkt, daß der Strom seinen Weg stetig ändert und die ganze Masse des Einsatzes partienweise bestreicht, so daß eine vollständige Gleichmäßigkeit des Schmelzgutes zu erzielen ist.

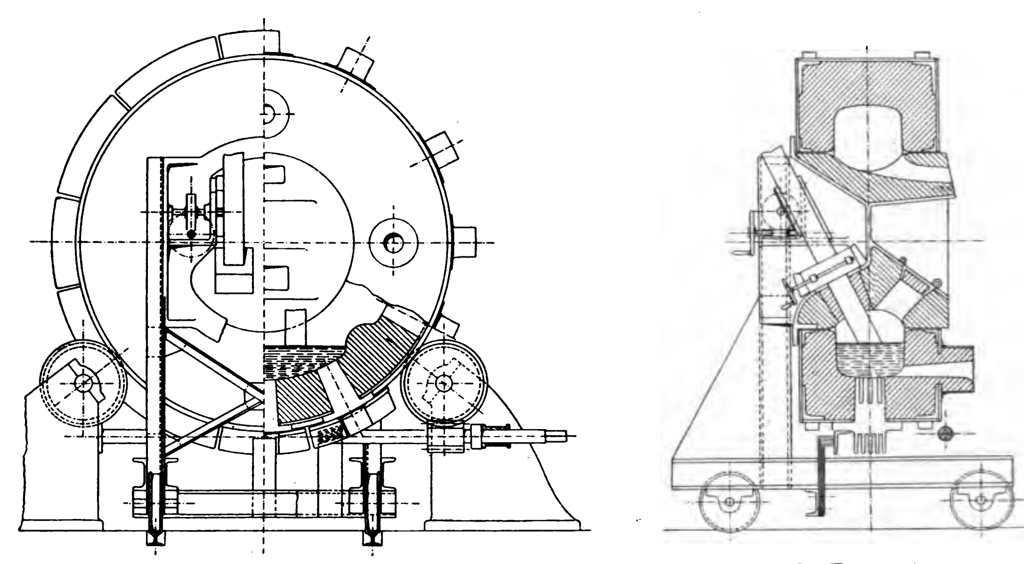


Fig. 199 und 200. v. Schatzl-Ofen für 0,2 m³ Fassungsraum (100 kg Eisenerz).

Beim Einschmelzen von Schrot wird genau dasselbe Verfahren beobachtet und ist auch hier ein ununterbrochener Betrieb möglich.

Es wurden mehrere Ausführungen des v. Schatzl-Krieger-Ofens konstruiert, und zwar für 0,2 m³, 1 m³ und für 25 m³ Fassungsraum. eines Herdes. Dieselben sind in den beistehenden Abbildungen wiedergegeben.

Ein Vergleich mit der nachstehenden Fig. 201, welche den ersten Entwurf des Erfinders darstellt, lehrt uns, daß der Herdring ursprünglich nicht auf Rollen ruhend, sondern mittels eines Drehzapfens gelagert gedacht war. Ferner ist der Herdring bei dieser Skizze noch nicht in

mehrere Abteilungen geteilt. Auch die Herdelektroden sind hier noch in anderer Art ausgebildet.

Eine Verbindung des v. Schatzl-Ofens mit einem Vorwärmeschacht für die Beschickung mit Erz stellt Fig. 202 bis 207 dar. Der Schacht ist mit Hilfe seiner Eisenpanzerung auf Trägern aufgehängt gedacht, so daß der Raum unterhalb desselben für die Manipulation frei ist.

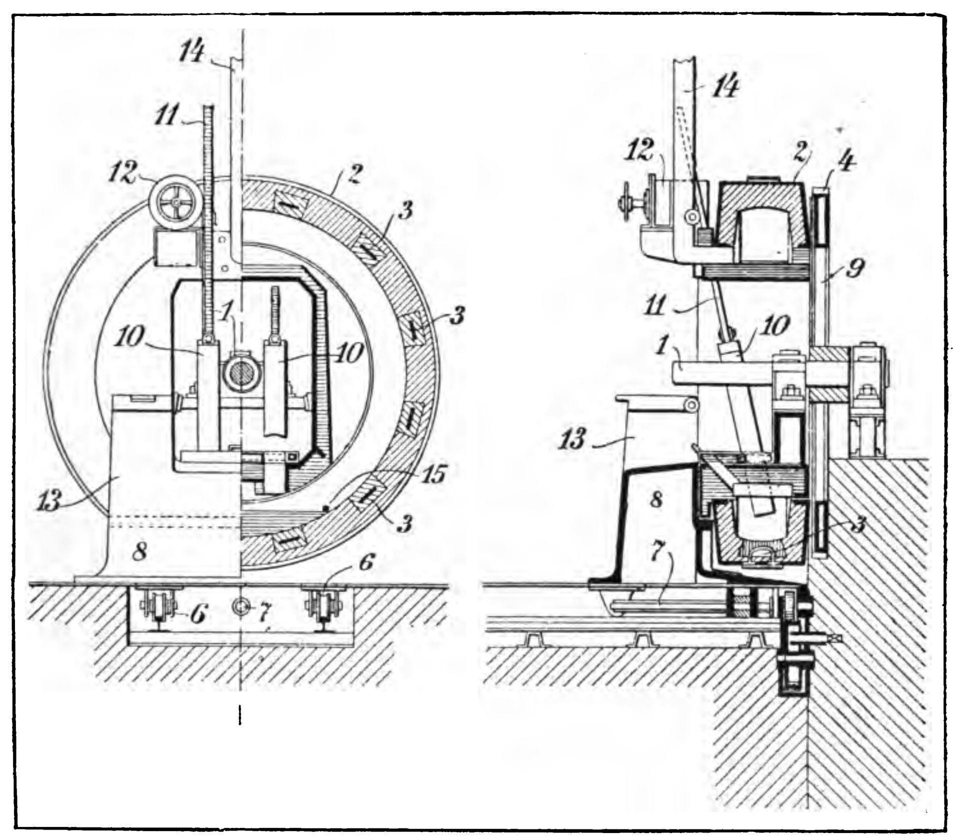



Fig. 201. Erster Entwurf des v. Schatzl-Krieger-Ofens.

1 Achse des Herdringes.
2 Eisenmantel des Herdringes,
3 Herdelektroden,
4 und 9 Antrieb des Herdringes,
6 und 7 Ausziehvorrichtung des Ständers,
8 und 13 Ständer,
10 Kohlenelektroden,
11 und 12 Einstellvorrichtung der Elektroden,
14 Gasabfuhr,
15 Stichöffnung für Metall und Schlacke.

Nach v. Schatzl hat der drehbare Elektroofen folgende Vorteile:

1. Ununterbrochener Betrieb, da durch Drehen des Hohlringes mehrmals frische Teile des Herdes zur Verfügung stehen und daher Störungen durch die Ofenauskleidung nicht zu erwarten sind. Auch der Deckenhohlkörper wird sehr geschont, da die Elektroden aufrecht

**stehen, daher die strahlende Wärme des Lichtbogens keinen bemerkenswerten Einfluß auf die Decke haben kann und da die heißen Abgase nicht im Herde verweilen, sondern sofort durch den Hohlkörper nach oben ziehen.**

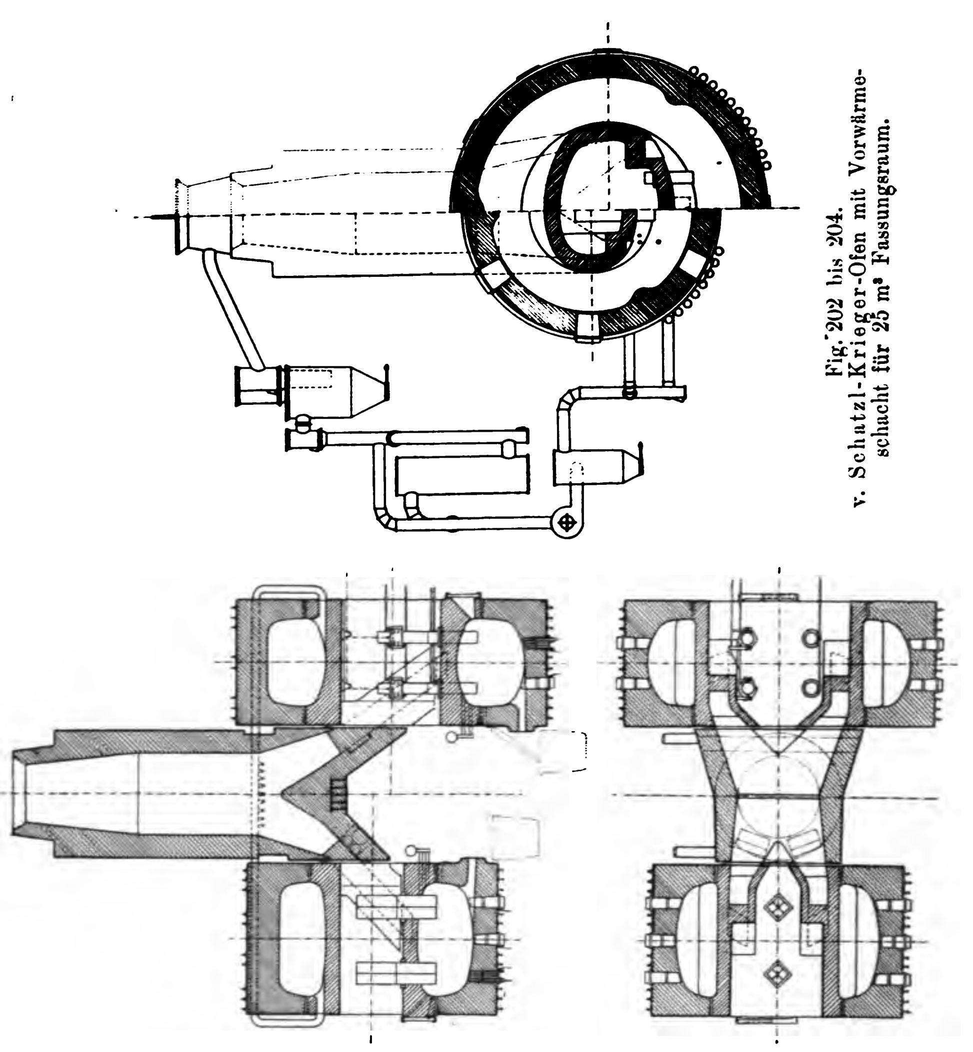


Fig. 202 bis 204.
v. Schatzl-Krieger-Ofen mit Vorwärmeschacht für 25 m³ Fassungsraum.

**2. Die dadurch erhöhte Leistungsfähigkeit des Ofens ist mit Ersparnissen an Arbeitslöhnen, Unkosten und Abschreibungen verbunden.**

**3. Erzielung eines gleichmäßigen Materiales infolge der Möglichkeit einer guten Mischung des Einsatzes durch Drehen und Schaukeln des Herdringes.**

**4. Möglichkeit, die Kohlenelektroden und Lichtbögen sowohl parallel als auch hintereinander zu schalten und daher ein gleich rationelles Arbeitsverfahren beim Einschmelzen und beim Raffinieren zu erhalten.**

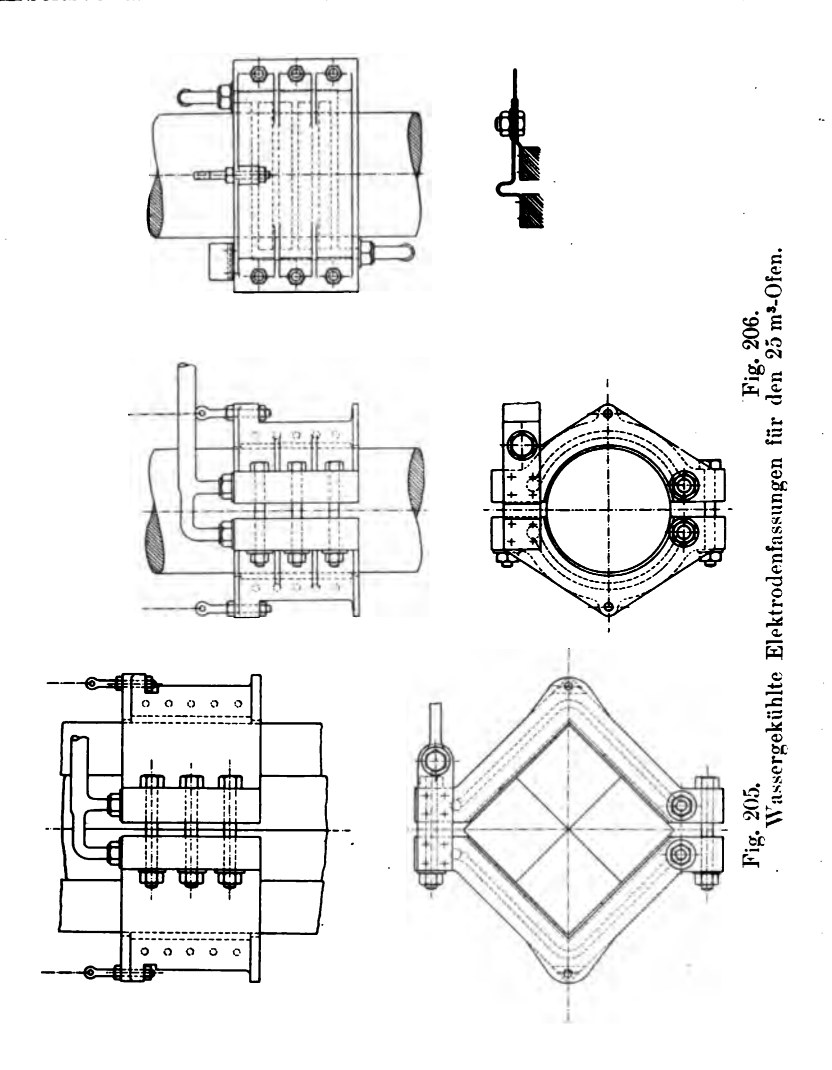


Fig. 205. Fig. 206.
Wassergekühlte Elektrodenfassungen für den 25 m³-Ofen.

**5.** Geringer Abbrand der Kohlen, da die Heizgase dieselben nicht bespülen, sondern seitlich im Hohlringe abziehen. Damit ist eine Reduktion des Elektrodenverbrauches verbunden.

**6.** Die Stahlelektroden sind durch die zellenartige Ausführung und die Ausfüllung der Zellenhöhlungen mit feuerfestem oder Kohlenfutter sowie durch die gute Kühlung vor größerer Abnutzung geschützt.

7. Auch die Kontakte der Kohlenelektroden sind gekühlt; sie kommen mit abziehenden Gasen nicht in Berührung. Daher können sie leicht instand gehalten werden.

8. Möglichkeit leichter und ständiger Beobachtung der Vorgänge im Herdinnern.

9. Abschluß des Herdraumes von der äußeren Luft während der Arbeit.

10. Möglichkeit des selbsttätigen Sichfreibrennens der Kohlenpole, wobei die schaukelnde Bewegung des Ringes und Einsatzes mithilft.

11. Diese Beweglichkeit des Herdes bewirkt auch, daß der nachzufüllende kalte Einsatz leicht in das Herdbecken rollt, ohne die Wandungen zu beschädigen und daß er sich selbsttätig gleichmäßig verteilt, ohne die Kohlenelektroden seitlich zu drücken.

12. Erhöhter pyrometrischer Nutzeffekt, da die Wärmeverluste gering sind.

13. Er bietet die Möglichkeit, Erze und Zuschläge in kontinuierlichem Betriebe verschmelzen zu können.

14. Eignet sich der drehbare Elektroofen auch für andere metallurgische Prozesse.

15. Sei hinzugefügt, daß der Ofen für beliebige Stromgattung eingerichtet werden kann.

16. Daß Probeentnahmen während des Betriebes leicht durchzuführen sind.

17. Daß die Stahlelektroden durch eine über denselben liegende Schichte aus Leitern zweiter Klasse noch weiter geschützt sind.

18. Daß die Abgase abgesaugt und wieder verwendet werden können.

19. Daß der direkte Anschluß an einen Vorwärme- bzw. Hochofenschacht möglich ist.

20. Bringt die Möglichkeit des leichten Freibrennens der Elektroden bzw. deren Nichteintauchen in das Schmelzbad mit sich, daß Kurzschlüsse nur selten oder gar nicht auftreten. Es werden nur Schwankungen der Stromstärke, jedoch keine empfindlichen Stromstöße vorkommen.

# Literatur.

Stahl und Eisen, Zeitschrift für das deutsche Hüttenwesen.
Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure.
Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines.
Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.
Technik und Wirtschaft, Monatsschrift des Vereines deutscher Ingenieure.
Elektrotechnische Zeitschrift.
Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen.
Elektrotechnik und Maschinenbau.
Metallurgie.
Société des Ingenieurs Civils de France, Mémoires et comptes rendus.
The Engineer.
The Iron Age.
The Iron and Coal Trade Review.

Beck, Geschichte des Eisens, 1903.
Borchers, Elektrometallurgie, 1903.
Dürre, Ziele und Grenzen der Metallurgie, 1896.
Hiorth, Some remarks on Iron Smelting.
Jüptner, Freiherr von, Grundzüge der Siderologie, 1902.
Jüptner von Johnstorff, Das Eisenhüttenwesen, 1912.
Leobner, Geschichte der direkten Eisen- und Stahlerzeugung, 1900.
Neumann, Elektrometallurgie des Eisens, 1912.
Rodenhauser-Schönawa, Elektrische Öfen in der Eisenindustrie, 1911.
Schatzl von Mühlfort, Elektro-Eisen, 1912.
Stassano, Die Wahrheit über die elektrischen Schmelzöfen, 1908.
Stassano, The application of the Electric furnace to Siderurgie, 1909.
Verein deutscher Eisenhüttenleute, Gemeinschaftliche Darstellung des Eisenhüttenwesens, 1912.
Winkler, von, Der elektrische Starkstrom im Berg- und Hüttenwesen, 1905.

Kongreß- und Sitzungsberichte.
Patentschriften.
Verschiedene Schriften und Prospekte.

# Namensverzeichnis.

Erfinder, Autoren u. a., Kennworte.

**Druck der Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke),**
**Berlin und Bernau.**





